

**Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais**

Matheus Miranda da Silva

***Why do birds suddenly appear?* Mapeando o risco aviário no
entorno dos aeroportos da Região Metropolitana de Belo
Horizonte**

Belo Horizonte

2018

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais

Matheus Miranda da Silva

***Why do birds suddenly appear?* Mapeando o risco aviário no
entorno dos aeroportos da Região Metropolitana de Belo
Horizonte**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Camila Palhares
Teixeira

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Affonso de
Albuquerque Nóbrega

Belo Horizonte

2018

S586w
2018

Silva, Matheus Miranda da.

Why do birds suddenly appear? [manuscrito] : mapeando o risco aviário no entorno dos aeroportos da região metropolitana de Belo Horizonte / Matheus Miranda da Silva. – 2018.

73 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Camila Palhares Teixeira.

Coorientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.

Bibliografia: f. 58-63.

Inclui anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Aeroportos – Minas Gerais – Teses. 3. Aeroportos – Medidas de segurança – Teses. 4. Mapeamento da cobertura do solo – Teses. I. Teixeira, Camila Palhares. II. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Why do birds suddenly appear? Mapeando o risco aviário no entorno dos aeroportos da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

MATHEUS MIRANDA DA SILVA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 05 de março de 2018, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Camila Palhares Teixeira - Orientador
UNIFEMM


Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega
UFMG


Prof. Ubirajara de Oliveira
UFMG


Prof. Alex Bages
UFLA

Belo Horizonte, 05 de março de 2018.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde e pessoas que estiveram em meu caminho e me fizeram crescer sempre. Graças a tudo isto, tive todas as condições de conseguir realizar esta etapa de minha carreira, apesar dos problemas de percurso. Agradeço à minha família por todo o suporte e incentivo aos estudos desde minha infância, sempre com respeito e apoio às minhas decisões de carreira, mas nunca com cobranças ou pressão por resultados. Muitas pessoas não conseguem estudar por falta de incentivo familiar, algo pelo qual eu apenas posso agradecer.

Em especial, agradeço à minha orientadora, e amiga, professora Camila. Em todos estes anos trabalhando juntos, te admiro e me inspiro mais em você a cada dia, por toda a empatia, compreensão e confiança que transmite. Sem contar a sua capacidade de pensar e de transmitir conhecimento. Espero um dia poder retribuir por todo apoio que você tem me dado ao longo destes anos. Aproveito para agradecer a todos os demais professores do programa e ao meu coorientador Rodrigo, pelo apoio na construção deste estudo.

Demonstro minha gratidão ao biólogo Carlos Eduardo e ao professor José Eugênio, que foram fundamentais na formação de uma base para este estudo e também pela disposição no repasse de informações para este projeto.

Agradeço a todos os profissionais do UNIFEMM, por me receberem com tanto carinho nas diversas reuniões para discussão do meu projeto que ocorreram durante estes dois anos.

Eu também sou grato a todos os profissionais da UFMG, colegas do programa de mestrado e a todas as pessoas que de alguma forma colaboraram na construção desta importante etapa da minha vida.

Por fim, agradeço ao Estado brasileiro pela oportunidade de estudar gratuitamente em uma grande instituição de ensino. Espero poder retribuir à nossa sociedade da melhor forma possível.

RESUMO

A atenção à segurança de viagens aéreas requer o foco em diversas adversidades relacionadas a este evento como, por exemplo, a colisão de aeronaves com a fauna, principalmente de aves. Das diversas causas deste fenômeno, destaca-se a cobertura do solo nas proximidades dos aeródromos como fator potencializador de atração dessas espécies para a localidade, agravando o problema da segurança viária. Contudo, a relação entre os padrões de cobertura do solo e o risco de colisão entre aeronaves e aves é ainda uma lacuna na literatura, e precisa ser investigada para fomentar políticas públicas. Este trabalho tem como objetivo a determinação dos fatores com potencialidade para atração de aves nos principais aeroportos da região metropolitana de Belo Horizonte - MG, a partir do emprego de técnicas de análise ambiental e ferramentas geoespaciais. Análises espaciais envolvendo o mapeamento do uso da terra e determinação de outras variáveis ambientais foram utilizadas para o cálculo da favorabilidade de atração de aves nos diferentes aeródromos estudados. Além disto, análises estatísticas foram empregadas para analisar os raios de segurança dos aeroportos. Com os resultados do estudo, pôde-se elucidar as relações entre a estrutura da paisagem, densidade de vegetação e suas associações com áreas de alto e baixo potencial de atração de aves, assim como discutir a determinação de áreas de segurança e planejamento para o risco aviário. Adiante, foi observado que a efetividade de raios de segurança dos aeródromos é dependente das condições de uso da terra no entorno dos aeroportos, devendo-se observar tais fatores no planejamento de segurança aeroportuária.

Palavras-chave: Aeroportos, Colisões, Risco Aviário, Cobertura do Solo.

ABSTRACT

Attention to the safety of air travel requires the focus on several issues related to this event, such as the collision of aircraft with animals, mainly birds. Of the several causes of this phenomenon, we highlight the land cover in the surroundings of the airports as a potential factor of attraction of these species to the local, aggravating the safety problem. However, the relationship between land cover patterns and the risk of collision between aircraft and birds is still a gap in the literature, and needs to be investigated to support public policy. This work aims to determine the factors with potential for attracting birds in the main airports of the metropolitan area of Belo Horizonte - MG, using environmental analysis techniques and geospatial tools. Spatial analysis involving the mapping of land use and determination of other environmental variables were used to calculate the attractiveness of birds in the different aerodromes studied. In addition, statistical analysis were used to analyze the security radii of airports. With the results of the study, it was possible to elucidate the relationships among landscape structure, vegetation density and its associations with areas of high and low potential for attracting birds, as well as discussing the determination of areas of safety and planning for the risk aviary. It has been observed that aerodrome safety radius efficiency is dependent on the conditions of land use around airports, and such factors must be observed in airport security planning.

Keywords: *Airports, Collisions, Avian Risk, Land Cover.*

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1. Objetivo Geral	10
1.2. Objetivos Específicos	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Risco aviário: histórico e conceitos	11
2.2. Ecologia da paisagem e uso do ambiente nas cidades	12
2.3. Fatores de atração de aves para áreas aeroportuárias	13
2.4. Aspectos legais do risco aviário e gestão de fauna	14
2.4.1. Zonas de Proteção de Aeródromo	16
2.5. Principais espécies de aves envolvidas em acidentes	18
2.6. Ferramentas geoespaciais	20
2.6.1. Classificação de imagens	20
2.6.2. Índices de Vegetação	21
2.6.3. Análise multicritério	23
3. METODOLOGIA	25
3.1. Área de estudo	26
3.2. Seleção de espécies para análise	27
3.3. Mapas de favorabilidade	28
3.3.1. Mapa de cobertura de vegetação e uso da terra	29
3.3.2. Mapa de presença e tipologia de unidades de conservação	31
3.3.3. Mapas de altitude e declividade	32
3.3.4. Mapa de distância para unidades de destinação de resíduos sólidos	32
3.3.5. Mapas de distância para rodovias e rede hidrográfica	32
3.3.6. Definição de ponderações para as variáveis e classes de entrada	33
3.3.7. Análise Multicritério	34
3.4. Análise dos padrões de vegetação	34
3.5. Determinação de áreas de alto potencial de atração	35
3.6. Caracterização das áreas favoráveis a atração	35
3.7. Análise da variação entre raios de distância e favorabilidade de atração	35
4. RESULTADOS	37

4.1.	Favorabilidade de atração	37
4.2.	Composição das áreas de alta e baixa atração	44
4.3.	Análise de variação entre os raios de distância	46
4.3.1.	Áreas de alto e baixo potencial de atração	46
4.3.2.	Correlação entre áreas de alto e baixo potencial de atração	48
4.3.3.	Correlação entre os aeródromos	49
5.	DISCUSSÃO	51
5.1.	Favorabilidade de atração	51
5.2.	Composição das áreas de favorabilidade	51
5.3.	Análise de variação entre os raios de distância	52
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXO I – Mapas das variáveis ambientais aplicadas na análise multicritério	64
	ANEXO II – Ficha de avaliação de pesos e notas para área de estudo	71
	ANEXO III – Mapa de densidade de vegetação na área de estudo	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de aves nocivas à aviação e respectivo grau de severidade atribuído....	19
Tabela 2. Incidentes envolvendo fauna nos aeroportos da região de Belo Horizonte entre 2011 e 2017	28
Tabela 3. Classes de uso e ocupação do solo abordadas no mapeamento.....	30
Tabela 4. Pesos determinados pelos especialistas para as variáveis ambientais, por espécie.	37
Tabela 5. Composição de CVUT das áreas de alta favorabilidade de atração.....	44
Tabela 6. Composição de CVUT das áreas de baixa favorabilidade de atração.	45
Tabela 7. Composição de densidade de vegetação das áreas de alta favorabilidade de atração.....	45
Tabela 8. Composição de densidade de vegetação das áreas de baixa favorabilidade de atração.....	46
Tabela 9. Regressão linear para análise das áreas de alto potencial em diferentes raios.	47
Tabela 10. Regressão linear para análise das áreas de baixo potencial em diferentes raios.	48
Tabela 11. Correlação entre áreas de alto e baixo potencial de atração	49
Tabela 12. Correlações entre os aeroportos estudados, em relação às áreas de alta favorabilidade de atração.....	49
Tabela 13. Correlações entre os aeroportos estudados, em relação às áreas de baixa favorabilidade de atração.....	50
Tabela 14. Ficha de notas para classes das variáveis ambientais	71
Tabela 15. Ficha para determinação de pesos para as variáveis ambientais	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão superior e corte lateral da superfície de aproximação (Coelho, 2012) .	17
Figura 2. Visão superior e corte lateral da superfície de decolagem (Coelho, 2012).....	18
Figura 3. Níveis de reflectância de diversos alvos superficiais (Davis, Major e Jacobowitz, 1984). Adaptação.....	22
Figura 4. Esquematização das etapas da metodologia aplicada no estudo	25
Figura 5. Localização dos aeroportos e municípios englobados na área de estudo.....	27
Figura 6. Mapa de favorabilidade de atração do carcará (<i>Caracara plancus</i>).....	40
Figura 7. Mapa de favorabilidade de atração do pombão (<i>Patagioenas picazuro</i>)	41
Figura 8. Mapa de favorabilidade de atração do quero-quero (<i>Vanellus chilensis</i>).....	42
Figura 9. Mapa de favorabilidade de atração do urubu (<i>Coragyps atratus</i>)	43
Figura 10. Mapa de altitude da área de estudo	64
Figura 11. Mapa de declividade da área de estudo.....	65
Figura 12. Distância para rede hidrográfica	66
Figura 13. Distância para áreas de destinação de resíduos sólidos urbanos.....	67
Figura 14. Distância para rodovias	68
Figura 15. Tipologias de unidades de conservação na área de estudo	69
Figura 16. Mapa de cobertura de vegetação e uso da terra na área de estudo.....	70
Figura 17. Densidade de vegetação	73

1. INTRODUÇÃO GERAL

A busca pela segurança no setor aéreo tem levado a novas perspectivas quanto ao planejamento e gestão do ambiente aeroportuário. A segurança na aviação é uma grande preocupação em todo o mundo, ganhando o foco de diversas organizações internacionais, como por exemplo a ICAO (*International Civil Aviation Organization*/ Organização Internacional de Aviação Civil), em melhorias na segurança durante as operações aéreas (Lopez-Lago, 2017). Um problema que constantemente afeta o setor são os acidentes envolvendo a fauna que, ao colidir com as aeronaves, geram danos aos equipamentos e infraestrutura, além do perigo à vida humana.

Os danos ambientais direta e indiretamente causados pelas colisões, como queimadas, resultantes do fogo gerado nos acidentes em conjunto com a presença de combustível nas aeronaves, além dos impactos financeiros e das perdas de vidas humanas contribuem para a atenção requerida pelo fenômeno, podendo considerar-se como um ato extremamente irresponsável a não observância de medidas de mitigação e controle do problema (Arana e Hespanhol, 2015).

O risco aviário, que é a potencialidade de ocorrência de eventos de colisão entre animais e aeronaves, torna-se uma questão primordial para a segurança aeroportuária, demandando estudos e práticas para compreensão dos efeitos do ambiente, natural e/ou antropizado, sobre o fenômeno em questão. Tais efeitos são principalmente endossados pelos focos de atração, que são locais que oferecem alimento e hospedagem a uma quantidade significativa de indivíduos, geralmente associados a poluição ou ausência de práticas de limpeza (Brasil, 2011).

O atual cenário de ocorrência de acidentes requer a investigação da contribuição de fatores externos ao ambiente aeroportuário para a presença da fauna. A legislação impõe restrições à implantação de empreendimentos e atividades nas proximidades dos aeródromos. Porém, o avanço desordenado das áreas urbanas, associados ao potencial de atração econômica dos aeroportos submetem as áreas de entorno a intensos processos de modificação da estrutura da paisagem, o que afeta diretamente os habitats e o equilíbrio ecológico, alterando as condições de vida e disponibilidade de alimentos para a fauna silvestre.

Os padrões de uso e mudanças na cobertura do solo interagem com diversos fatores ecológicos (Warren *et al.*, 2010). Alterações na composição destes padrões apresentam efeitos diversos sobre o equilíbrio ecológico e condições dos habitats. Assim,

as transições na cobertura do solo apresentam potencial para atração da fauna, favorecendo o seu contato com ambientes e atividades antrópicas. A hipótese estabelecida para o presente estudo é que a composição da cobertura vegetal e uso da terra (CVUT) nos arredores dos sítios aeroportuários exerce influência sobre a atração e presença de fauna para essas localidades, com consequente elevação do risco de colisões.

Esta pesquisa apresenta uma análise sobre o fenômeno de colisões envolvendo a fauna em aeroportos, que levantou os principais aspectos e fatores envolvidos, com foco principal na compreensão da estrutura da paisagem e ordenação do uso do solo e seus efeitos sobre a atração de fauna para os ambientes aeroportuários.

1.1. Objetivo Geral

O presente estudo teve como objetivo a determinação dos fatores com potencialidade para atração de aves nos principais aeroportos da região metropolitana de Belo Horizonte - MG, usando quatro espécies de aves de alta incidência em aeroportos do Brasil como modelo, a partir do emprego de técnicas de análise do ambiente espacialmente descrito.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar as condições de CVUT dos arredores dos aeroportos, com aplicação de ferramentas geoespaciais;
- Identificar os padrões de CVUT e densidade de vegetação nas áreas de alto potencial de atração e compreender a associação do uso e ocupação do solo e outros aspectos ambientais com as principais espécies envolvidas;
- Determinar as relações espaciais existentes entre as áreas de alta e baixa favorabilidade de atração de aves, com base na análise de diferentes raios de segurança.
- Elaborar mapas de potencialidade ambiental de atração de aves no entorno dos aeródromos;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Risco aviário: histórico e conceitos

A aviação caracteriza-se como uma das mais importantes atividades para a dinâmica do mundo globalizado, modernizando-se com grandes investimentos tecnológicos que a tornam cada vez mais rápida e segura. Contudo, alguns problemas têm estado presente desde o início dos testes com aviões, como a colisão com aves e outros animais. O primeiro registro de colisão com aves foi realizado por Orville Wright, durante um voo em Ohio, no ano de 1908, e a primeira fatalidade foi registrada em 1912, quando uma gaivota se alojou nos controles do avião pilotado por Cal Rodgers (Cleary e Dolbeer, 2005; Thorpe, 2003).

A ocorrência de acidentes com vítimas fatais envolvendo aeronaves de transporte comercial de passageiros é relativamente baixa: um caso por cada bilhão de horas de voo (Thorpe, 2003). Cerca de 65% das colisões com aves causam pouco ou nenhum dano aos aparelhos (Milson e Horton, 1995). Entretanto, acidentes mais sérios podem ocorrer se o animal se chocar com alguma parte da aeronave que não seja certificada para resistir ao impacto. Eventos recentes, como o voo 1549 da *US Airways*, levando a bordo 155 ocupantes, no qual um avião teve que pousar no Rio *Hudson*, após colidir-se com aves no ano de 2009, trouxeram a temática para um patamar de atenção popular em relação à segurança frente ao risco de colisão aviária (NTSB, 2010; Washburn, Cisar e DeVault, 2013). No Brasil, há registros de acidentes envolvendo tanto a aviação civil quanto a militar, com registro de duas mortes e mutilações de tripulantes militares em ocorrências de colisão com aves (Brasil, 2011).

O risco à vida humana torna-se o grande fator de preocupação ao tratar-se da problemática. Contudo, é importante salientar que as colisões com fauna geram prejuízos operacionais e, conseqüentemente prejuízos econômicos para as companhias aéreas e empresas operadoras de aeródromos. De acordo com Allan (2002), os custos anuais decorrentes de colisões entre aeronaves e aves em todo o mundo chegam a US\$ 1,5 bilhão. Inconvenientes envolvem perdas para toda a atividade, como a suspensão da operação e danos às aeronaves, com destaque para os prejuízos com danos nos motores (Thorpe, 2003). Desde 1988, mais de 276 mortes foram causadas por colisões com animais silvestres, além da perda de mais de 200 aeronaves civis e militares (Washburn, Cisar e DeVault, 2013).

Os benefícios da evolução tecnológica das aeronaves trouxeram consigo fatores que agravaram o problema. O aumento da velocidade dos aviões potencializou os efeitos de uma colisão no ar. Outro aspecto é o ruído provocado pela aeronave, que funciona como um fator de afastamento para os animais, que tem se tornado menor nos modelos recentes (Cleary e Dolbeer, 2005). Alguns fatores contribuem para o risco de acidentes durante as fases de operação nos aeródromos, destacando-se a baixa velocidade na aproximação final, foco dos pilotos na pista e nos procedimentos de aterrissagem, aceleração máxima dos motores na decolagem, entre outros (Lopez-Lago, 2017).

2.2. Ecologia da paisagem e uso do ambiente nas cidades

A abordagem da Ecologia caracteriza-se muitas vezes pela consideração de fatores como condições físicas e populações de espécies que podem afetar as relações entre indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas num determinado local. Porém, ao considerar áreas maiores, obtém-se uma visão amplificada dos diversos habitats que as compõem. A Ecologia da Paisagem estuda os aspectos ecológicos e sua influência sobre paisagem e suas alterações nas escalas espaço-temporais (Antrop e Van Eetveld, 2000). Os estudos devem abordar a caracterização dos padrões de paisagem e seus agentes modificadores, o arranjo de modelos e a fundamentação de políticas públicas de manejo e conservação (Martins *et al.*, 2004).

A interação entre espécies é um dos elementos do qual o funcionamento dos ecossistemas depende, sendo os processos de urbanização de ambientes naturais um fator com efeitos relevantes sobre essas relações (Gaston, Davies e Edmondson, 2010). Muitos aspectos ecológicos estão relacionados ao uso do solo e processos de transição para ambientes urbanos, que por sua vez derivam de processos históricos das alterações nas tecnologias de transporte e das mudanças econômicas (Warren *et al.*, 2010).

Sadler *et al.* (2010) mostraram a importante associação da presença, riqueza e abundância de espécies com a estrutura, tipologia e localização de áreas verdes, relatando a relação da presença de aves com a densidade de áreas residenciais e edificadas, uso do solo urbano, conectividade e isolamento de ambientes. Tais fatores associam-se devido a ocorrência de fontes de alimentação e habitat estruturado para os animais, e também com o grau de distúrbio causado pelas atividades humanas. A tendência para a diversidade de aves é de diminuição com os processos de urbanização, contudo considera-se que em gradientes intermediários de ocupação do solo, a

diversidade tende a apresentar seus maiores níveis (Warren *et al.*, 2010). Em Belo Horizonte, Teixeira (2014) descreve que os animais se distribuem por toda a área da cidade, mas existem padrões de distribuição relacionados com cada grupo específico de animais, em relação ao uso e ocupação da Terra.

Do ponto de vista urbano, as estratégias para a conservação e desenvolvimento se baseiam nas perspectivas de manejo hídrico, gestão de florestas e áreas verdes, e gerenciamento da vida silvestre, sempre dependentes da visão dos cidadãos sobre a natureza urbana. As estratégias seguem conceitualmente três linhas: (1) tradicional, na qual a conservação da natureza e dos recursos é tratada como prioridade; (2) conservação e desenvolvimento de áreas urbanas multifuncionais, com a conservação sendo apenas um dos objetivos e com ênfase no valor da natureza; e (3) a arquitetura associada à conservação, na qual as funções arquitetônicas da área guiam as estratégias de conservação (Snep e Opdam, 2010). A ecologia urbana é frequentemente sub-discutida na dimensão global da literatura, que tem foco na conservação da biota nativa, com destaque para a conservação ou recuperação de habitats de espécies nativas (McKinney, 2010).

2.3. Fatores de atração de aves para áreas aeroportuárias

Tão importante quanto a colisão em si, é a compreensão dos aspectos e causas que levam o contato entre aeronaves e animais. A atração de aves e outros animais pode ser provocada pela presença de atividades de natureza perigosa, como vazadouros de resíduos, matadouros e áreas agrícolas, por exemplo. Essas e outras atividades são consideradas como focos de atração, uma vez que podem gerar riscos à operação aeroportuária (Brasil, 2014a). Outro fator que pode-se exemplificar é que o ambiente aberto dos aeroportos torna-os propícios à atração de aves que são adaptadas à gramados. (Marateo *et al.*, 2015)

A presença de áreas de disposição de resíduos é um dos mais notórios aspectos que provocam a atração de aves. Aterros sanitários e outras unidades de manejo de resíduos sólidos tornam-se grandes atrativos para aves, que por consequência trazem inúmeros problemas para a saúde e segurança pública, como doenças e risco de colisão com aeronaves (Wahsburn, 2012). O desequilíbrio ecológico ocasionado pela destinação de resíduos e operação de outras atividades no entorno de aeroportos causa um agravamento do risco de colisões com urubus no Brasil (Souza, 2001).

A localização geográfica, estação do ano e práticas operacionais das estações de transferência de resíduos apresentam grande influência sobre a quantidade de aves na unidade. A consideração de tais aspectos no planejamento tende à redução das probabilidades de acidentes. Nos Estados Unidos, por exemplo, há a recomendação para o respeito de um raio de 8 km de distância dos aeroportos para a implantação de aterros sanitários (Wahsburn, 2012). Outro fator com grande potencial é a presença de corpos hídricos. O controle de escoamento pluviométrico é um requisito de segurança para a operação aérea, contudo a destinação da água para bacias e lagoas de contenção conflita diretamente com a necessidade de mitigação do risco aviário (Blackwell *et al.*, 2008).

Fatores pontuais têm grande relevância na quantificação dos riscos e registros de ocorrência, porém a análise de aspectos gerais apresenta-se como importante instrumento para a abordagem da situação. A projeção de riscos para a segurança frente às populações de animais silvestres é frequentemente negligenciada no planejamento do uso do solo em aeroportos. Porém, a demanda sobre a aviação civil pode tornar necessário o aumento da capacidade dos aeroportos, que traz novas perspectivas quanto aos efeitos do uso do solo e animais silvestres sobre a segurança na aviação (Blackwell *et al.*, 2009).

Os efeitos das mudanças provocadas no uso do solo pela implantação de instalações sobre o uso do ambiente pelos animais podem ser diversos. Estudos sugerem que a recharacterização do ambiente provocada pela instalação de fileiras de placas fotovoltaicas no local da cobertura do solo constituída por grama ou vegetação natural tem potencial para reduzir os riscos relativos à colisão de aves em aeroportos (DeVault *et al.*, 2014). O emprego da falconaria com o gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*) no aeroporto Carlos Drummond de Andrade, em Belo Horizonte-MG, alterou as condições de presença de quero-queros (*Vanellus chilensis*) e pombões (*Patagoanas picazuru*), reduzindo significativamente os padrões de abundância e comportamento de forrageio dos indivíduos dessas espécies (comunicação pessoal, Carlos Eduardo A. Carvalho¹).

2.4. Aspectos legais do risco aviário e gestão de fauna

Ações que visam a diminuição dos efeitos causados por aves em aeroportos são abrangidas por diversas legislações e normatizações brasileiras e internacionais.

¹ Comunicação pessoal do doutorando em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Carlos Eduardo Alencar Carvalho, ao autor, em fevereiro de 2017.

Muitos destes dispositivos legais abrangem a forma como o solo do entorno dos aeródromos é gerido e utilizado, assim como formas de controle da fauna nestes ambientes.

A Lei 12725 (Brasil, 2012) dispõe sobre as formas de controle da fauna na região dos aeródromos, sendo instituída a Área de Segurança Aeroportuária (ASA), uma área circular definida a partir do centro da pista do aeroporto, com 20 km de raio. Diversas restrições quanto ao uso e ocupação do solo são observadas no interior da ASA, com a observância da possibilidade de atividades que possam atrair a fauna para a área. De acordo com a lei, o manejo da fauna pode ser realizado a partir de intervenções no ambiente, manejo de animais e partes dos animais, translocação de material zoológico coletado, captura e translocação, coleta e destruição de ovos e ninhos. O abate de animais é recomendado apenas quando nenhuma das formas de manejo apresentou resultados para a mitigação do risco aviário.

O manejo da fauna nos aeródromos é regulamentado pela resolução CONAMA nº 466 (Brasil, 2015a), na qual são estabelecidos critérios e técnicas alternativas para ações de manejo. A resolução determina que a definição das espécies com a qual o manejo será baseado é realizada a partir de uma avaliação utilizando uma matriz de probabilidade e severidade, onde diversos fatores envolvendo as aves e colisões são englobados para a definição do grau de risco que cada espécie apresenta para a aviação.

A gestão do solo nas intermediações dos aeroportos é feita com base no Plano Básico de Gerenciamento de Risco Aviário (PBGRA), um dispositivo que parametriza as análises da instalação de empreendimentos e atividades, para a determinação do potencial de atração de aves e determinação do planejamento visando a redução do risco de colisões. Dentre os principais elementos apresentados pelo PBGRA estão as fichas de controle de risco aviário, pelas quais são reportados os casos de avistamento, colisão e quase-colisão, e a instituição da Área de Gerenciamento de Risco Aviário, que abrange um raio de 20 km a partir do aeródromo, com um setor interno de raio de 9 km, no qual as medidas observadas são mais restritivas (Brasil, 2011).

O ICAO recomenda a avaliação dos recursos nas dependências dos aeródromos para o levantamento de fatores que possam atrair aves perigosas para a aviação. Com o devido plano de manejo destes recursos, para desenvolver, reduzir ou eliminá-los e reduzir a quantidade de aves da maior forma possível. A presença de uma equipe especializada é recomendada nas imediações das pistas a pelo menos 15 minutos

antes de pouso e decolagens no aeródromo (IBSC, 2006). A ICAO determina a observância de um perímetro de 13 km para autoridades e operadoras dos aeroportos conduzirem estudos relativos a localização de atrativos para aves. As avaliações devem ser conduzidas de forma a considerar os padrões de movimento das aves (Bradbeer *et al.*, 2013).

Em suas recomendações para o uso do solo e implantação de recursos nas imediações dos aeroportos, o ACRP (*Airport Cooperative Research Program/ Programa de Pesquisa Cooperativa em Aeroportos*) delimita três perímetros para o controle de fatores de atração de animais silvestres: (1) 5000 pés (1,5 Km) para aeroportos que atendem aeronaves movidas a motores de pistão, (2) 10000 pés (3 Km) para instalações que atendem aviões movidos à turbinas e (3) um perímetro de 5 milhas (8046 Km) que visa a proteção do espaço aéreo para decolagem, aterrissagem e circulação das aeronaves. As principais formas de manejo recomendadas são a seleção e espaçamento de espécies de aves, para alteração do habitat, manutenção da altura da grama, proibição de certas culturas agrícolas, eliminação de água empoçada e uso de formas de dispersão de animais silvestres (Ward *et al.*, 2010).

O contexto legal e normativo da temática do risco aviário assume um papel de indutor ao planejamento operacional e de segurança dos aeródromos. Contudo, uma falta de padronização entre as recomendações propicia a geração de dúvidas relativas à aplicabilidade e competência de execução. Analisando os perímetros de segurança normatizados, observa-se valores que chegam a 20 km de raio, que serve como uma importante referência para a gestão, mas que podem não refletir a real necessidade de segurança do aeroporto. As diversas formas de manejo que podem ser aplicadas demandam melhores estudos para o desenvolvimento de técnicas e maior adaptabilidade ao meio para, a partir deste ponto, atingir os objetivos de tais recomendações.

2.4.1. Zonas de Proteção de Aeródromo

Os padrões de movimentação de aeronaves nas ações de decolagem, aterrissagem e circulação funcionam como delimitadores para áreas de planejamento e organização de diretrizes para a condução do uso do solo nas áreas limítrofes. Alves

(2014) destaca a portaria do Comando da Aeronáutica, na qual são listadas observações a serem tomadas na implantação de atividades que possa prejudicar a segurança e operação aeroportuárias e institui o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos. O plano apresenta um grupo de cinco áreas bidimensionais ou tridimensionais, para restrição do uso do solo na Zona de Proteção do aeródromo, sendo elas Superfícies de Aproximação, de Decolagem, de Transição, Horizontal Interna e Cônica (Coelho, 2012).

A superfície de aproximação (Figura 1) é delimitada através de um plano inclinado, ou um conjunto deles, com dimensões estabelecidas pela Portaria da Aeronáutica nº 957, com a mesma elevação inicial da cabeceira da pista. Variações em seus limites podem ocorrer devido à aproximação com desvio lateral, com prolongamento do eixo lateral para correção das divergências uniformes (Brasil, 2015b). As colisões tendem a ser frequentes com aeronaves em baixas altitudes em posição de pouso, elevando a importância dessa área (Morais, 2012).

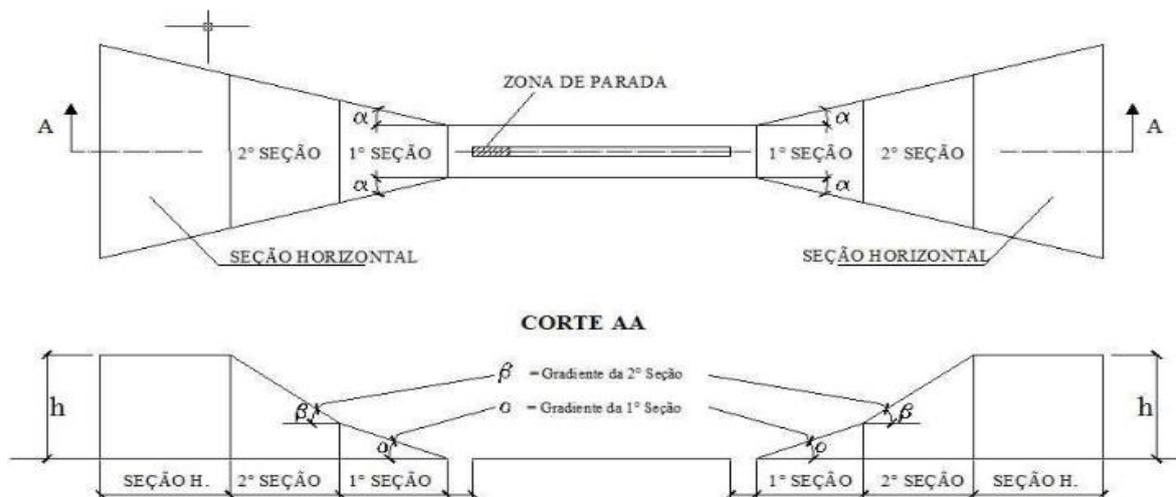


Figura 1. Visão superior e corte lateral da superfície de aproximação (Coelho, 2012)

A necessidade de uma zona de proteção para decolagens revela-se pela presença de aves nas intermediações dos aeródromos, que podem se chocar com aeronaves em processo de aceleração para decolagem (Morais, 2012). A superfície de decolagem (Figura 2) constitui-se de um plano inclinado posterior à pista de decolagem, formando uma superfície com borda interna perpendicular ao eixo da pista, borda externa perpendicular à trajetória de decolagem e laterais originárias a partir da cabeceira da pista (Brasil, 2015b).

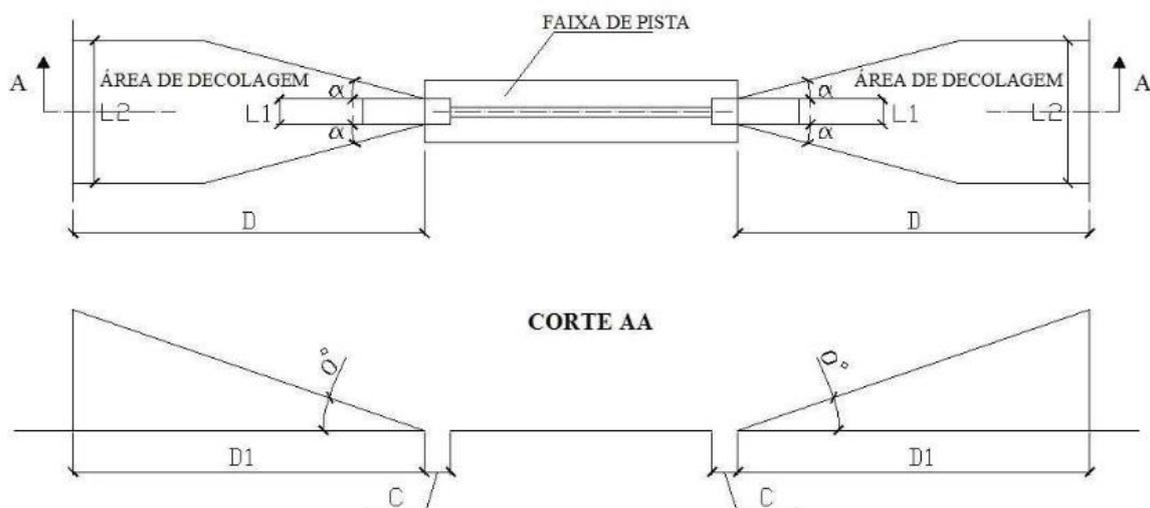


Figura 2. Visão superior e corte lateral da superfície de decolagem (Coelho, 2012)

2.5. Principais espécies de aves envolvidas em acidentes

Diversas espécies estão associadas ao risco aviário no Brasil, variando principalmente de acordo com a localização do aeródromo, pelas diferenças de biomas e condições ambientais. Contudo, algumas espécies tornam-se mais frequentes, independentemente do local onde o aeroporto situa-se. O Ministério do Meio Ambiente determinou a listagem de espécies-problemas para o setor da aviação (Tabela 1), que possui grande importância para o manejo de espécies, uma vez que a Lei de Crimes Ambientais (Brasil, 1998) permite o abate apenas de animais considerados nocivos.

A partir da matriz de avaliação disposta na Resolução nº 466 (Brasil, 2015a), o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) realizou a avaliação da severidade relativa das principais espécies envolvidas em acidentes no Brasil (Tabela 1), baseada no escalonamento dos graus de três fatores: (1) grau de dano simples, (2) efeitos no veio e (3) danos substanciais (Brasil, 2016).

Embora as espécies descritas na tabela abordarem a nocividade relativa a todos os aeroportos brasileiros, as espécies: *Coragyps atratus*, *Caracara plancus*, *Vanellus chilensis* e *Patagioenas picazuro* são potenciais problemas em aeroportos, observadas relevantemente no estado de Minas Gerais, reportados entre os animais mais envolvidos em acidentes nesta região (Brasil, 2016).

Tabela 1. Lista de aves nocivas à aviação e respectivo grau de severidade atribuído.

Espécies nocivas à aviação (Brasil, 2013)*		Classificação de severidade (Brasil, 2016)			
Nome científico	Nome popular	Dano (D%)	Efeito no voo (EV%)	Dano maior (DN%)	Severidade Relativa (SR%)
<i>Coragyps atratus</i>	Urubu-da-cabeça-preta	20	74	3	94,1
<i>Bubulcus ibis</i>	Garça-vaqueira	11	11	6	72,5
<i>Egretta thula</i>	Garcinha	12	12	0	60,8
<i>Caracara plancus</i>	Carcará	6	7	1	47,1
<i>Ardea alba</i>	Garça-branca	0	21	0	35,3
<i>Vanellus chilensis</i>	Quero-quero	3	5	1	29,4
<i>Columba livia</i>	Pombo-doméstico	8	2	0	29,4
<i>Tyto alba</i>	Coruja-da-igreja	**	**	**	**
<i>Athene cunicularia</i>	Coruja-buraqueira	**	**	**	**

*Apenas espécies de aves da listagem foram apresentadas

**Sem informação

Os urubus-da-cabeça-preta (*Coragyps atratus*) (Bonaparte, 1850) são aves grandes, podendo medir até em torno de 74 cm, com coloração preta opaca. Estão presentes em áreas com presença humana, como no entorno de cidades e rodovias. Consome frequentemente carcaças de animais, insetos e ovos de pássaros. Sua presença é comum e dispersa em diversas regiões, não sendo uma ave ameaçada de extinção (Houston, Kirwan e Boesman, 2017). Campos e áreas abertas estão entre os locais preferidos pelos urubus, porém existe presença em áreas urbanas, principalmente nos arredores de áreas de fluxo de alimentos (Spradley *et al.*, 2012). Os indivíduos desta espécie são detritívoros que formam grandes agregações para a busca por carcaças, não apresentando comportamento territorial. Os animais dormem empoleirados em conjuntos que podem chegar até centenas de indivíduos (Parker *et al.*, 1995).

O carcará (*Caracara plancus*) (Miller, 1777) é uma ave sul-americana que habita principalmente áreas abertas ou semi-abertas, como campos e pastagens. É uma ave oportunista, se alimentando de diversos tipos de animais e até mesmo de resíduos sólidos orgânicos. A ave não é considerada como em risco de extinção (Bierregaard Junior e Marks, 2017). O carcará habita qualquer ambiente aberto, com a possibilidade de ser encontrado com frequência nas estradas e queimadas (Sick, 1997).

Os quero-queros (*Vanellus chilensis*) (Molina, 1792) são aves médias, variando de 32 a 38 cm, que possuem crista e esporas. Possuem uma coloração preta no

peitoral, com tons acinzentados e bronzeados nas partes superiores. Habita áreas abertas com vegetação curta, como pastos, campos úmidos e planícies fluviais. Alimenta-se principalmente de insetos, também consumindo outros invertebrados e peixes pequenos. A espécie não é classificada como em risco de extinção (Wiersma e Kirwan, 2017). A espécie nidifica no solo, principalmente em banhados e pastagens, podendo adotar áreas próximas a estradas e longe d'água (Sick, 1997).

O pombão (*Patagioenas picazuro*) (Temminck, 1813) é uma ave comum na América do Sul, medindo cerca de 30 cm. A espécie é o maior dos columbídeos do Brasil, encontrado do nordeste ao sul do país. Apresenta comportamento migratório e acompanha os desmatamentos para expansão de seus domínios (Sick, 1997). Possui coloração variando de tons violetas a acinzentados, dependendo da parte do corpo. Habita florestas, galerias e campos, também presente na caatinga nordestina, nidificando em árvores ou arbustos. Sua alimentação é baseada em sementes, frutos e alguns insetos (Baptista *et al.*, 2017).

2.6. Ferramentas geoespaciais

2.6.1. Classificação de imagens

A classificação multiespectral é um processo que baseia-se na associação dos *pixels* de uma imagem a classes temáticas, realizado a partir da observação e seleção de *pixels* e sua vizinhança. Pelo sensoriamento remoto, é possível realizar a classificação multiespectral com base em dois focos: (1) classificação supervisionada, na qual amostras de *pixels* relacionados à classe temática são selecionadas pelo usuário e a associação dos demais *pixels* com a classe selecionado é executado pelo *software*, com uso de técnicas estatísticas; e (2) classificação não-supervisionada, pela qual a definição dos *pixels* relacionados com as classes é determinada pelas técnicas estatísticas empregadas pelo *software* (Beluco, 2002).

O treinamento da amostra, a partir da seleção de dados que podem ser racionalmente ligados a uma das classes de interesse, é um requisito para aplicação do algoritmo de classificação supervisionada. A proximidade de cada *pixel* a ser classificado aos dados da amostra fundamenta a classificação, sendo empregados métodos estatísticos e geométricos para determinação da distância e padrões determinados pelo algoritmo

(Reddy, 2008). Uma forma de aquisição de amostras é feita pela segmentação da imagem, que consiste em sua partição em regiões homogêneas. A segmentação é baseada classicamente na medida espacial. Este método é considerado crucial no processamento de imagens de alta qualidade com objetivos de classificação e seleção de atributos (Babykalpana e Thanushkodi, 2010).

Richards e Jia (2006) listam os passos fundamentais para realização da classificação supervisionada, independentemente do método de probabilidades de distribuição aplicados:

- i. Determinação das classes de cobertura da Terra a serem consideradas, como água, regiões urbanas, cultivos agrícolas, por exemplo;
- ii. Selecionar os *pixels* representativos para cada classe (amostra);
- iii. Utilizar a amostra para estimar os parâmetros para o classificador;
- iv. Associação dos *pixels* da imagem com as classes de cobertura do solo determinadas, a partir do uso do classificador treinado;
- v. Avaliação da precisão do mapa classificado.

Diversas técnicas são empregadas como classificadores, como os métodos de Máxima Verossimilhança, Distância Mínima para a Média, Distância Média, Função Discriminante, entre outros. A técnica de Máxima Verossimilhança é a mais comum dentre os classificadores aplicados no processamento de imagens (Richards e Jia, 2006). Dentre as vantagens da aplicação do método enquadram-se a precisão do desempenho e redução dos níveis de computação requeridos, além de ser um recurso adaptativo (Reddy, 2008).

A exatidão da classificação pode ser avaliada pela análise dos erros de processamento. A determinação é realizada pela comparação dos valores estimados com os valores reais. A obtenção de um valor médio, dentre todos os valores estimados, permite a obtenção de um resumo estatístico, evidenciado em um índice de classificação (Wheadon, 2014). Dentre os coeficientes de acurácia apresentados pela literatura, o índice Kappa tem sido o mais amplamente utilizado. A avaliação consiste que a magnitude da concordância entre os estimadores tenham sido classificados em uma das categorias resposta não-sobrepostas. O coeficiente estima a chance percentual de concordância dos itens avaliados para criar um fator de ajuste para a exatidão real (Congalton, 1991).

2.6.2. Índices de Vegetação

O monitoramento de vegetação é uma das principais aplicações que demandam processamentos e análises de imagens no sensoriamento remoto, geralmente com a combinação de operações matemáticas entre bandas, para a determinação de índices da condição da vegetação. A reflectância de diferentes alvos na superfície de acordo com as bandas multiespectrais é heterogênea, permitindo a associação dos níveis de reflectância com as características dos elementos superficiais, como mostrado na Figura 3.

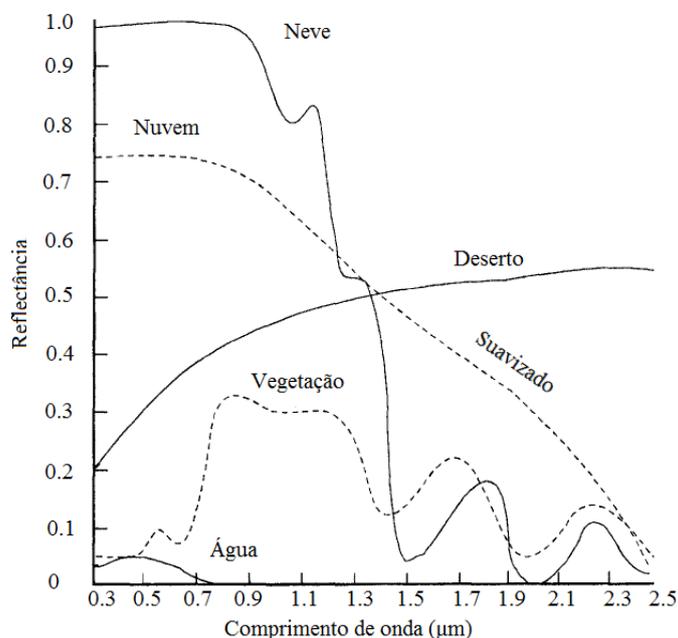


Figura 3. Níveis de reflectância de diversos alvos superficiais (Davis, Major e Jacobowitz, 1984). Adaptação.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é uma combinação da reflectância, a partir de operações entre as bandas do vermelho e infravermelho. Por exemplo, vegetação fotossinteticamente ativa possui níveis de reflectância abaixo de 20% na faixa do visível, mas acima de 60% no infravermelho (Reddy, 2008). O indicador também é conhecido como índice de vegetação, calculado com a razão entre as diferenças dos valores do infravermelho próximo com a banda de valores na região do vermelho, pela soma dos mesmos valores, resultando em valores que variam de -1 a 1 (United States, 2003).

A positividade do índice é um indicador de presença de vegetação, variando tipicamente entre 0.1 e 0.6, com os valores aproximando-se de 1 de acordo com o incremento na atividade fotossintética da vegetação. Os valores de NDVI negativos são relacionados com nuvens, água e neve, devido a grande reflectância no visível. Valores próximos a zero relacionam-se com solo e áreas rochosas (Reddy, 2008).

O NDVI pode ser ajustado para adequar-se às condições de solo exposto nas imagens, através da aplicação de um fator de ajuste, resultando em um novo indicador, denominado Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, ou SAVI. O fator de ajuste é uma constante (L_s), que varia de acordo com as condições do solo, em uma faixa de 0.25 a 1.0, associados a baixa e alta densidade de vegetação, respectivamente. Por designar um padrão intermediário de densidade, o valor de 0.5 é mais comumente utilizado (Boratto e Gomide, 2013).

2.6.3. Análise multicritério

O processo de tomada de decisões torna necessário o uso de mecanismos para auxílio na definição de soluções para a complexidade das questões envolvidas. Os métodos de análise multicritério, que são extensamente empregados para investigação de tais fenômenos, são um sistema de suporte fundamentado na correspondência de critérios, para assistência na tomada de decisões, em casos onde se faz necessário o emprego de mais de uma variável para compreensão dos objetos de estudo (Santos, 2010).

Lopes (2015) aponta que, para utilização da técnica, é inicialmente preciso o levantamento das variáveis representativas do evento analisado. Os mapas são dispostos em planos de informação, com a observação de resolução espacial compatível. O segundo passo é a combinação dos mapas das variáveis, de forma a representar adequadamente o fenômeno analisado. A definição do grau de importância de cada plano de informação e seus componentes é a base para o processo, que é realizado por média ponderada simples, ou mesmo com a lógica *Fuzzy* para determinação de pesos e notas. A ponderação é realizada por *knowledge driven evaluation*, que são especialistas nos fenômenos e variáveis envolvidas, ou por *data-driven evaluation*, que é o conhecimento de contextos semelhantes. A aplicação do método *Delphi*, uma consulta direta com especialistas é recomendada para a elaboração de uma função de pertinência (Moura, 2007).

O método *Delphi* surgiu no mundo dos negócios nos Estados Unidos, tornando-se bastante aceito em diversas áreas, como saúde, educação, tecnologia da

informação, transporte e engenharia. Consiste na aplicação de uma série de questionários intercalados para coletar a análise de especialistas sobre um determinado assunto. Os questionários são focados no levantamento de problemas, soluções e oportunidades, sendo desenvolvidos com base nos questionários anteriormente aplicados. O processo é levado até o ponto onde as questões da pesquisa encontram-se solucionadas (Skulmoski, Hartman e Krahn, 2007).

O anonimato dos especialistas envolvidos no método *Delphi* é essencial para manter a independência das avaliações, uma vez que as informações de determinados grupo pode influenciar a avaliação de outros (Moura, 2007).

3. METODOLOGIA

Os métodos empregados neste estudo foram fracionados em duas etapas de trabalho. Inicialmente, foram desenvolvidos mapas de favorabilidade da presença de aves no entorno dos aeródromos estudados, a partir de análise multicritério envolvendo diversas variáveis ambientais, espacializando o comportamento das espécies. O conceito de favorabilidade considerado neste estudo abrange a probabilidade de presença dos indivíduos de determinada espécie em determinada região. Em um segundo momento, com a utilização dos mapas de favorabilidade criados, foi realizada a avaliação da influência do ambiente sobre a presença de aves no entorno dos aeroportos, com foco na perspectiva da CVUT da região, associada à análise da densidade de vegetação da área avaliada. Prosseguindo esta etapa, foi analisada a similaridade entre a atração ambiental das quatro espécies abrangidas no estudo. As etapas metodológicas estão esquematizadas na Figura 4.

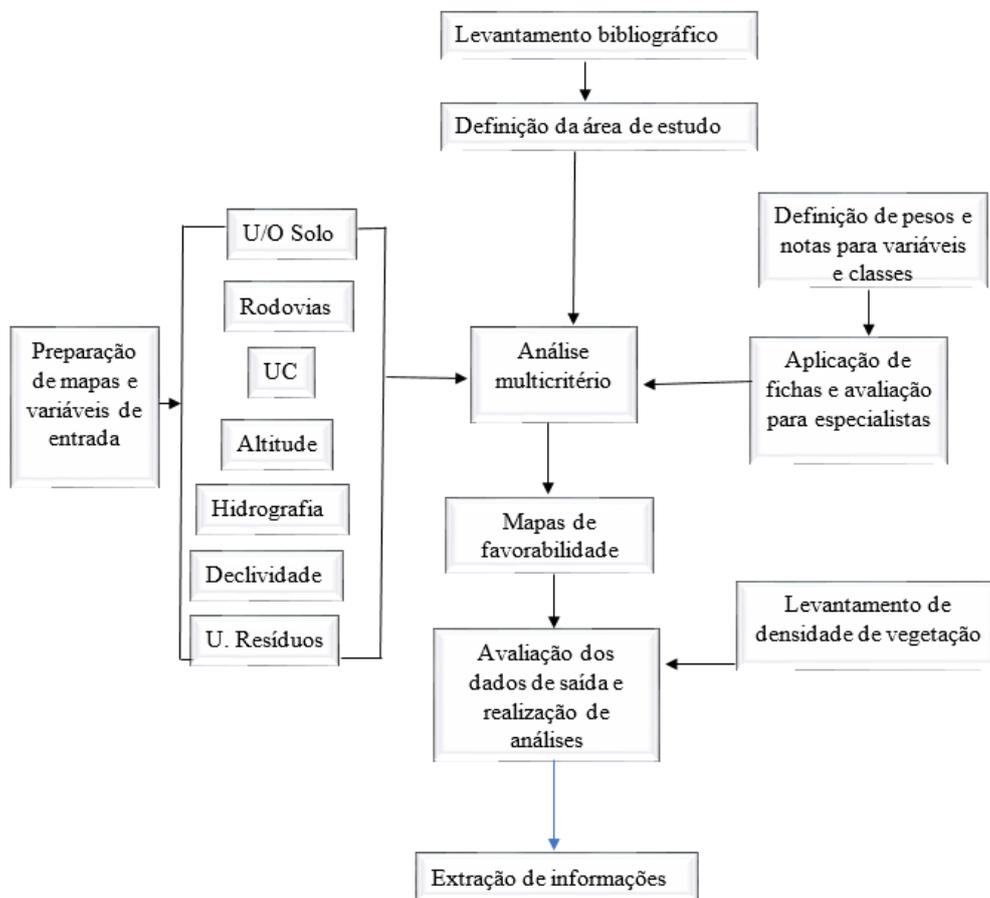


Figura 4. Esquematização das etapas da metodologia aplicada no estudo

3.1. Área de estudo

Os dados utilizados no estudo são correspondentes as ASA dos três principais aeroportos que atendem à demanda da região metropolitana de Belo Horizonte - MG: (1) Aeroporto Internacional Tancredo Neves, (2) Aeroporto da Pampulha e (3) Aeroporto Carlos Prates (Figura 5). As áreas englobam Belo Horizonte e outros municípios metropolitanos, compreendidos entre as latitudes -19.45 W e -20.08 W, e entre as longitudes -43.76 S e -44.18 S, dadas em graus decimais.

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves (-19.634704 W e -43.967914 S, em graus decimais), instalado na cidade de Confins-MG, é um dos principais do país em movimentação de passageiros, com um fluxo anual de 108295 operações (Brasil, 2014b), criado em 1980 para atender a demanda de Belo Horizonte. O aeródromo está localizado em uma região de expansão da RMBH, mas que conserva diversas áreas de ambientes naturais, com destaque para a transição entre o Cerrado e Mata Atlântica, os únicos biomas brasileiros considerados *Hotspots* (Mittermier *et al.* 1999), ou seja, áreas com uma grande necessidade de conservação devido a sua situação, o que torna a região foco na criação de unidades de conservação. O predomínio do relevo cárstico favorece a abertura de áreas de mineração de calcário na região.

O Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (-19.850871 W e -43.949955 S, em graus decimais), situado na região da Pampulha, em Belo Horizonte-MG atende voos nacionais e regionais, possuindo capacidade reduzida quando comparado ao Aeroporto de Confins. Anualmente, em torno de 66711 operações no aeroporto (Brasil, 2014b). A localização dentro da área urbana de Belo Horizonte torna a segurança aeroportuária um fator de grande atenção. No seu entorno, situa-se a Lagoa da Pampulha, um enorme espelho d'água que atrai diversas espécies de aves. Importantes vias do sistema de transporte da região cruzam as proximidades do aeroporto, como a MG-010 e Avenida Presidente Antônio Carlos.

O Aeroporto Carlos Prates (-19.909777 W e -43.989365 S, em graus decimais) também localiza-se dentro da área urbana de Belo Horizonte-MG, atendendo voos regionais e aeronaves de pequeno porte. Nas suas intermediações destacam-se o Anel Rodoviário, importante via de interligação da região metropolitana e um aterro sanitário desativado situado no bairro Jardim Filadélfia.

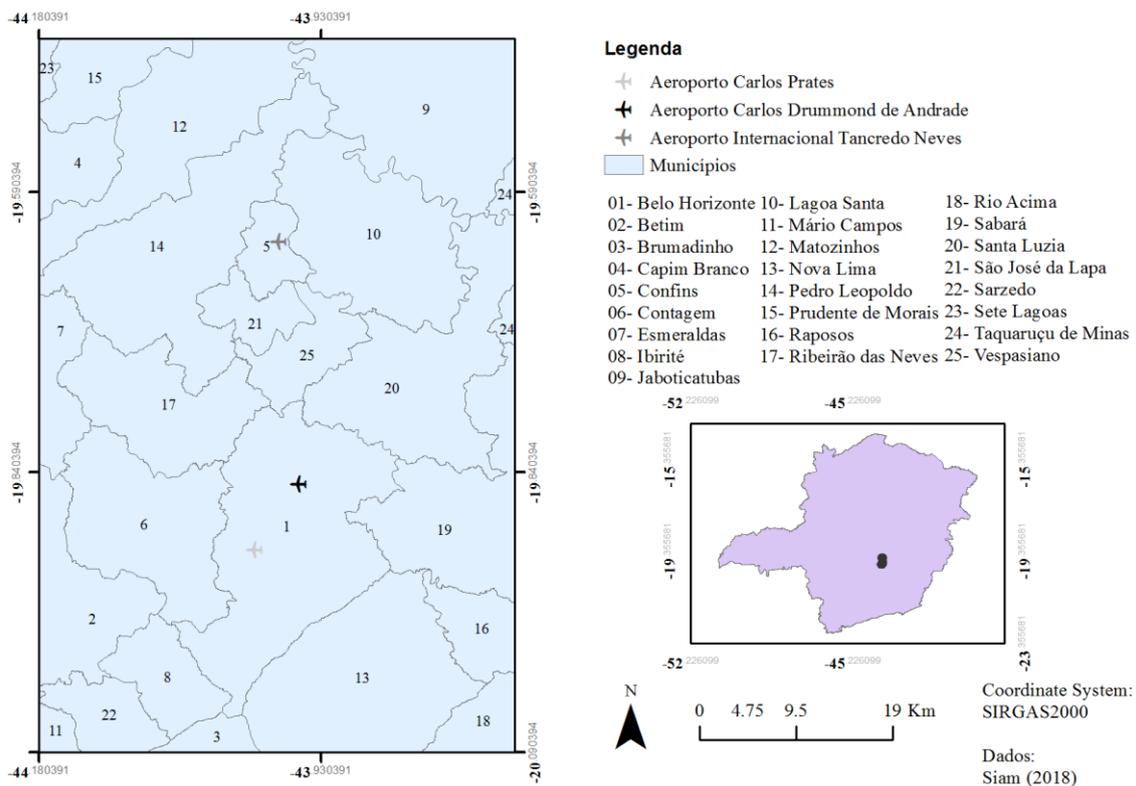


Figura 5. Localização dos aeroportos e municípios englobados na área de estudo.

3.2. Seleção de espécies para análise

A determinação de espécies baseou-se na observação de dados de incidentes reportados ao CENIPA, juntamente a informações presentes na literatura. O CENIPA disponibiliza relatórios de acidentes envolvendo fauna ocorridos nos aeródromos brasileiros. As informações dividem-se em três tipos de incidentes: colisão, quase colisão e avistamento. A tabela 2 apresenta uma compilação dos dados observados nos três aeroportos estudados no período de 2011 a 2016.

As espécies *Coragyps atratus*, *Caracara plancus*, *Vanellus chilensis* e *Patagioenas picazuro* foram selecionadas devido ao histórico de incidência nos aeródromos objetos de estudo, auxiliados pela observância de critérios de severidade (Brasil, 2016). Informações cedidas por um outro estudo realizado na região

(comunicação pessoal, Carlos Eduardo A. Carvalho²).também embasaram a escolha das espécies

Tabela 2. Incidentes envolvendo fauna nos aeroportos da região de Belo Horizonte entre 2011 e 2017, apresentando dados de colisão, quase colisão e avistamento absolutos (total) e relativos ao total de incidentes (%).

Identificação	Colisão	Quase Colisão / Avistamento	Total	%
Carcará (<i>Caracara plancus</i>)	22	10	32	6.0
Pombão (<i>Patagioenas picazuro</i>)	10	1	11	2.1
Quero-quero (<i>Vanellus chilensis</i>)	26	15	41	7.7
Urubus / Família <i>Cathartidae</i>	19	200	219	41.1
Outros	67	27	94	17.6
Não identificado	104	32	136	25.5

3.3. Mapas de favorabilidade

A elaboração de mapas de favorabilidade para atração de espécies de aves nas imediações dos aeroportos foi realizada com aplicação de análise multicritério, para avaliação dos efeitos do uso do solo do entorno na contribuição para elevação do risco aviário, servindo como elementos de auxílio para o planejamento de manejo de fauna e segurança aeroportuária.

Para a realização da análise multicritério, foram aplicadas as seguintes variáveis ambientais (ANEXO I):

- i. Cobertura de vegetação e uso da terra;
- ii. Presença classificação de unidade de conservação;
- iii. Altitude;
- iv. Declividade;
- v. Distância para áreas de destinação de resíduos sólidos;
- vi. Distância para a rede hidrográfica da área;
- vii. Distância para as principais rodovias.

Os mapas foram elaborados durante o estudo, com o auxílio de dados e informações de órgãos públicos, como a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e

² Comunicação pessoal do doutorando em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Carlos Eduardo Alencar Carvalho, ao autor, em fevereiro de 2017.

Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Agência Nacional de Águas (ANA) e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os dados que não se encontravam em formato matricial tiveram seu formato modificado, juntamente a equalização das resoluções espaciais para o mínimo aplicável, de acordo com o formato de origem de cada arquivo.

A análise multicritério foi ponderada com os pesos atribuídos com aplicação do método Delphi, no qual especialistas da área são questionados sobre os efeitos dos critérios adotados em relação à questão em análise – *knowledge driven evaluation*. (Moura, 2007). O processo foi guiado até a definição de coeficientes de ponderação que possibilitaram a aplicação da análise multicritério (será explicada a metodologia mais adiante).

3.3.1. Mapa de cobertura de vegetação e uso da terra

O mapa de CVUT foi criado com o uso de imagens SENTINEL 2 MSI, disponibilizadas pelo USGS, correspondentes à data de 01 de julho de 2017. As bandas 2, 3, 4 e 8 (Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo, respectivamente), com resolução espacial de 10 m/pixel, foram utilizadas para a preparação do mapa. O *ArcGis* 10.3 e o *Spring* foram os *softwares* empregados para a manipulação das imagens e construção dos mapas.

O englobamento de toda a área de estudo demandou a utilização de quatro imagens. A correção geométrica foi aplicada para um bom ajuste entre as imagens, que foram reunidas em um único arquivo *raster* com o emprego das ferramentas de construção de mosaicos do *ArcGis*.

A ferramenta de classificação de imagens do *Spring* permitiu a construção dos mapas temáticos a partir da composição RGB empregada (falsa cor: vermelho, infravermelho próximo e verde). A criação dos mapas ocorreu no desenvolvimento de três fases: (1) segmentação da imagem empregada, (2) treinamento do classificador e (3) classificação supervisionada.

A segmentação no *Spring* depende da seleção de parâmetros de área da região e similaridade. Para este estudo, foi adotado um limiar de área de 60 pixels. Quanto à similaridade, foi aplicado um valor de 15, considerado como parâmetro com desempenho satisfatório por Oliveira *et al.* (2003).

A partir das regiões segmentadas, foram selecionadas amostras para cada uma das classes temáticas. As classes dos mapas foram selecionadas com base na observância de mapeamentos da cobertura de vegetação e uso do solo do município de Belo Horizonte-MG (Assis, 2008) e da cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais (SIAM, 2017), e com o auxílio nas informações do manual da vegetação brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012). As classes foram reagrupadas em dez temas para atender os objetivos do estudo, conforme demonstrado na Tabela 3. Um fator considerado para a adoção dos temas é o grande raio da área de estudo, que faz com que parte significativa da mancha urbana de Belo Horizonte esteja contida na ASA do aeroporto.

Tabela 3. Classes de uso e ocupação do solo abordadas no mapeamento

Classe/Tema	Referência	Descrição
Água	ab	Cursos e corpos d'água
Campo Antrópico	b	Área com vegetação modificada pela ação humana, com remoção da cobertura natural, incluindo pastos e cultivos agrícolas
Campo Cerrado	a	Campo natural, com presença de vegetação de pequeno porte
Cerrado/Cerradão	b	Vegetação típica de cerrado, encontrada em maior porte e densidade
Floresta Nativa	b	Vegetação densa, localizada em elevadas faixas altimétricas
Floresta Plantada	ab	Reflorestamento e monoculturas
Solo Exposto	ab	Área sem cobertura de vegetação ou edificações
Urbano	ab	Áreas impermeáveis em geral

Referências: a: Assis (2008); b SIAM (2017).

O classificador empregado no *Spring* foi o *Bhattacharya*, adotando-se limiar de aceitação de 0.95. O mapa gerado foi posteriormente submetido aos procedimentos de pós-classificação, visando uma maior homogeneidade das classes.

A validação do mapa teve como base a comparação com pontos reais, feita por meio da estimativa do índice *Kappa*. Os procedimentos de validação se deram pela:

- i. Geração de 200 pontos aleatórios no *Arcgis* (*Create Random Points*), que foram salvos em formato *shapefile*;

- ii. As informações do mapa classificado foram extraídas para a tabela de atributos do arquivo de pontos;
- iii. Utilizando imagens recentes e de alta resolução do *Google Earth*, as informações dos pontos foram comparadas com a realidade;
- iv. Uma matriz de confusão foi criada com as informações levantadas na comparação.

As informações contidas na matriz de confusão permitem o cálculo do índice *Kappa* (Equação 1). Para os mapas gerados, o valor obtido para o índice foi de 0.67, tornando a concordância da classificação substancial (Landis e Koch, 1977) e adequada para os objetivos do estudo.

$$k = \frac{N \sum X_{ij} - \sum X_i X_j}{N^2 - \sum X_i X_j} \quad (\text{Equação 1})$$

Na qual,

N: número total de dados da matriz de confusão;

X_{ij}: dados da matriz principal da matriz;

X_i: dados dispostos em cada linha matriz;

X_j: dados contidos em cada coluna da matriz.

3.3.2. Mapa de presença e classificação de unidades de conservação

O mapa de unidades de conservação foi criado com a utilização de dados vetoriais dos limites legais das áreas protegidas, disponibilizados pelo Sistema de Informações Ambientais do Estado de Minas Gerais - SIAM (SIAM, 2017). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação prevê a existência de dois grupos de unidades, que foram considerados para este trabalho: Proteção Integral e Uso Sustentável (Brasil, 2000). A abordagem desta variável permitiu a consideração do status de conservação sobre o problema de estudo, permitindo observar se tais fatores ocasionam em favorecimento da presença das espécies na área. Esta influência foi observada para a representatividade e manutenção de espécies de aves no cerrado (Braz, 2008). Os dados vetoriais foram convertidos em matriciais com o auxílio de ferramentas de conversão do *ArcGis*.

3.3.3. Mapas de altitude e declividade

Dados do projeto TOPODATA (INPE, 2017) foram utilizados para a criação dos mapas de altitude e declividade. As quadrículas correspondentes à área de estudo são 19S45 e 20S45, sucedidas pelos códigos ZN para altitude e SN para declividade. As imagens das quadrículas foram reunidas em um único arquivo, através das ferramentas de construção de mosaicos do *ArcGis*. Procedimentos de manipulação dos arquivos matriciais foram realizados, como a equalização das resoluções espaciais em coerência com o restante do trabalho. Para o mapa de declividade, a qualificação das classes foi dada de acordo com a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

O englobamento dessas variáveis objetivou a análise da posição biogeográfica das espécies sobre o problema de estudo. Pimentel (2009) relatou a existência de relação entre variáveis ambientais, dentre as quais altitude e declividade, e a abundância de aves.

3.3.4. Mapa de distância para unidades de destinação de resíduos sólidos

Resíduos sólidos representam um importante fator na atração animal, muitas vezes relacionados a problemas de saúde pública. Levando este ponto em consideração, a distância para os locais onde os resíduos são dispostos foi integrada a este estudo. O levantamento das unidades se deu por meio dos dados de registros disponíveis no SIAM (2017), ponderando-se que apenas unidades de médio/grande porte e com processos de regularização ambiental estão registradas no sistema. Unidades com operação encerrada foram incluídas, respeitando um horizonte de 25 anos, o qual representa o tempo de vida útil de um aterro acrescido pelo período em que os processos de degradação de matéria orgânica ainda ocorrem no local (Barros, 2012), o que possibilita a atração de fauna.

As coordenadas registradas foram convertidas em um arquivo vetorial, que na sequência foi empregado para a criação de um mapa de distância pela ferramenta de geração de Distância Euclidiana do *ArcGis*.

3.3.5. Mapas de distância para rodovias e rede hidrográfica

Os mapas de distância para rodovias e para rede hidrográfica foram desenvolvidos a partir da técnica de Distância Euclidiana, aplicada por meio do *ArcGis*. As informações espaciais que basearam os cálculos foram arquivos vetoriais da malha

viária disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT, 2017) e pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). Os mapas de distância foram criados com resolução espacial compatível com o contexto do estudo. As rodovias possuem atributos que atraem a fauna para suas proximidades, o que representa influência na presença dos mesmos nestas áreas (Forman *et al.*, 2002)

3.3.6. Definição de ponderações para as variáveis e classes de entrada

As sete variáveis de entrada foram submetidas à uma avaliação de especialistas para definição dos pesos para o cálculo dos mapas de favorabilidade. Da mesma forma, as classes de cada uma das variáveis também foram ponderadas. A análise dos profissionais foi baseada no método *knowledge driven evaluation* (Moura, 2007), realizada por meio da aplicação de fichas, nas quais os especialistas indicaram sua perspectiva frente ao contexto apresentado. Onze especialistas foram consultados para a realização desta etapa, valor considerado satisfatório devido a homogeneidade do grupo requerido para esta análise (Skulmoski *et al.*, 2007).

As fichas foram divididas em duas seções: (1) determinação de pesos para as variáveis e (2) definição de notas para as classes integrantes às variáveis de entrada (ANEXO II). Para determinação dos pesos, o profissional atribuiu um valor entre 0 e 100 para cada variável, sob a condição final de que o somatório dos pesos resultasse em um valor máximo de 100. A atribuição de notas seguiu os mesmos procedimentos, com a exceção de que foram atribuídas notas entre 0 e 10 para cada classe, para favorecer a diferença entre as avaliações, e de que não houve exigência de valores máximos para o somatório das notas. Cada avaliador respondeu o questionário quatro vezes, sob a perspectiva de cada uma das espécies analisadas neste estudo.

As respostas dos pesquisadores foram tabuladas para posterior cálculo descritivo. A definição das ponderações foi realizada com base nos valores das médias aritméticas dos pesos e notas atribuídos. No final desta etapa, as classes das variáveis de entrada foram alteradas de acordo com as notas estabelecidas, com a utilização da Reclassificação, um dos recursos disponíveis no *ArcGis*.

3.3.7. Análise Multicritério

A análise multicritério aplicada neste estudo englobou os mapas das variáveis de entrada e pesos definidos por especialistas, conforme apresentados. O desenvolvimento dos mapas de favorabilidade levou em conta o cálculo das variáveis sob a perspectiva das novas ponderações. A Equação 2 demonstra os fatores considerados na estimativa. Os mapas foram desenvolvidos individualmente para as espécies analisadas, o que totalizou em um número final de quatro mapas de favorabilidade.

$$\varphi = \frac{\sum_1^n \theta_n X_n}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

Na qual,

φ : grau de favorabilidade;

θ_n : peso atribuído à variável de entrada;

X_n : variável de entrada;

n : número total de variáveis.

Sob a perspectiva desta estimativa, os mapas de favorabilidade estimados apresentam valores entre 0 e 10. Quanto maior o valor apresentado, a atração da espécie torna-se mais favorável.

3.4. Análise dos padrões de vegetação

Os padrões de densidade de vegetação foram avaliados pelo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). O índice foi determinado com aplicação das imagens no *software Spring*. O NDVI foi determinado pela proporção entre diferença das bandas no infravermelho e vermelho, como exposto na Equação 3. O mapa calculado (ANEXO III) serviu de base para caracterização da densidade de vegetação na área de estudo.

$$NDVI = \frac{\text{InfraVermelho} - \text{Vermelho}}{\text{InfraVermelho} + \text{Vermelho}} \quad (\text{Equação 3})$$

3.5. Determinação de áreas de alto potencial de atração

Os mapas de favorabilidade apresentam valores em uma faixa de 0 a 10, que indicam o potencial da área na atração das espécies avaliadas. Com o objetivo de buscar regiões nas quais a favorabilidade de atração fosse caracterizada como elevada, foram utilizados métodos para testar a similaridade e determinar agrupamentos dos valores.

A autocorrelação espacial foi calculada para os mapas para a identificação de *cluster* para valores altos e baixos. A ferramenta de criação de *Clusters* e Análise de *Outliers*, do *ArcGis* foi empregada nesta análise. O nível de significância aplicado foi de 95%.

3.6. Caracterização das áreas favoráveis a atração

Com a definição das regiões onde a potencialidade de atração é elevada, foram utilizadas as delimitações destas áreas para um processo comparativo para o levantamento das características de CVUT. O processo descritivo consistiu na extração de informações das áreas de alto e baixo potencial de atração frente ao uso e ocupação do solo e densidade da vegetação. Os procedimentos desta etapa foram conduzidos no *ArcGis*. A quantificação de pixels para cada classe foi extraída para o cálculo da área abrangida, em valores absolutos e percentuais.

3.7. Análise da variação entre raios de distância e favorabilidade de atração

Diversos raios de distância têm sido aplicados como parâmetro de segurança para os aeroportos, com sua recomendação variando de acordo com o país ou instituição. Porém, não existe padronização ou associação para definição de um raio ideal ou que se adeque à realidade da atração de fauna nas redondezas dos aeródromos.

Visando analisar este contexto, este estudo simulou a variação do raio para observar sua relação sobre as áreas favoráveis à atração de aves. Para tal, foram criados raios, com intervalos de 2 km, até o alcance de uma distância máxima de 20 km, no entorno dos três aeroportos analisados. Destes raios, foram extraídas informações relativas à quantificação de áreas com alta e baixa potencialidade de atração de fauna.

A partir destes dados, foram criados modelos de regressão linear para a simulação e verificação das tendências de variação existentes. Os modelos foram gerados com auxílio do *software* R v. 2.3.2, pacote *Stats*. Foram criados modelos para os três aeroportos, englobando individualmente cada uma das quatro espécies de estudo.

A variação relativa das áreas de alta e baixa favorabilidade de acordo com o aumento dos raios, foi testada de forma a verificar-se as tendências de presença de áreas de potencialidade de atração de acordo com a distância para o aeródromo. Modelos de regressão linear simples foram aplicados, com a variável explicativa “variação no raio de distância” e variável resposta “concentração de áreas de favorabilidade”, sendo esta última tanto alta como baixa. A hipótese para este caso foi a existência de relação de causa e efeito entre o aumento do raio de distância e a concentração de áreas de alta e baixa favorabilidade.

A correlação entre áreas de alta e baixa favorabilidade foi analisada para observar a forma com a qual as relações entre estas áreas ocorrem, de acordo com aeródromo e espécie. Foram aplicadas análises de correlação de *Pearson* para a verificação, comparando-se a concentração de áreas de alta favorabilidade com a de áreas de baixa favorabilidade, variando de acordo com os raios de segurança. A hipótese para esta análise foi a existência de relações entre as áreas de alta e baixa favorabilidade na área de estudo.

Por fim, a correlação entre os aeródromos foi avaliada, de acordo com seus raios de segurança, com o objetivo de avaliar-se as padronizações existentes entre as composições de favorabilidade de cada aeroporto e como tal fator relaciona-se com os demais aeródromos. Para tal avaliação também foram aplicadas análises de correlação de *Pearson*, comparando-se a concentração de áreas de favorabilidade no entorno de cada aeródromo com os demais. A realização destas análises possibilitou que as áreas de favorabilidade fossem retratadas com base nos raios de distância para o aeródromo, permitindo a avaliação de sua influência sobre áreas de atração.

4. RESULTADOS

Nesta seção, as principais informações extraídas pelo estudo são apresentadas. Os resultados, que foram descritos com auxílio de tabelas e figuras, estão dispostos em quatro tópicos: (1) favorabilidade de atração, (2) composição das áreas de alta e baixa atração, (3) análise da variação entre raios de distância e favorabilidade de atração.

4.1. Favorabilidade de atração

Os mapas de favorabilidade foram obtidos a partir da análise multicritério das variáveis ambientais selecionadas. Os pesos atribuídos pelos especialistas para o cálculo dos mapas estão apresentados na Tabela 4. Quatro mapas foram construídos, com base em cada uma das espécies de estudo *Caracara plancus* (figura 6), *Patagioenas picazuro* (figura 7), *Vanellus chilensis* (figura 8) e *Coragyps atratus* (figura 9). O índice de favorabilidade calculado está disposto em valores entre 0 e 10, com o máximo representando valores mais favoráveis à atração.

Tabela 4. Pesos determinados pelos especialistas, representando o efeito (%) de cada uma das variáveis ambientais sobre as espécies.

Variável	Carcará	Pombão	Quero-Quero	Urubu
	(%)	(%)	(%)	(%)
Altimetria	4.5	7.8	10.1	1.8
Declividade	5.4	5.0	15.8	5.6
Distância para Cursos D'Água	10.2	13.4	19.7	9.0
Distância para Rodovias	24.1	9.5	5.1	16.2
Distância para Resíduos Sólidos	21.8	7.4	6.3	44.1
Unidades de Conservação	7.2	14.1	6.6	3.7
Uso e Cobertura do Solo	26.8	42.8	36.4	19.5

O mapa observado para o carcará (*Caracara plancus*) apresentou o maior valor do índice entre os mapas de favorabilidade. Nota-se uma maior densidade de áreas com valores elevados na porção norte da área de estudo, com destaque para os arredores do Aeroporto Internacional Tancredo Neves. A direção das áreas remete à estrutura

rodoviária da região, o que elucida a influência da variável “distância para rodovias” sobre o índice desta espécie.

Os valores gerados para o pombão (*Patagioenas picazuro*) também apresentam maior concentração de áreas de maior probabilidade de atração na região norte da área de estudo. Contudo, observa-se uma redução dos valores máximos e mínimos.

O mapa de favorabilidade de atração do quero-quero (*Vanellus chilensis*) segue o observado para os mapas anteriores, com maior concentração de áreas de maior probabilidade no norte da área de estudo. Porém, estas áreas encontram-se mais dispersas quando comparadas aos outros mapas. O índice para o quero-quero apresentou a maior amplitude dentre as espécies analisadas.

As áreas mais favoráveis à atração para o urubu (*Coragyps atratus*) são distribuídas dentro das porção centro-norte da área de estudo. A amplitude do índice para esta espécie foi a menor encontrada. Observa-se uma grande similaridade das áreas com valores elevados com as regiões próximas às unidades de destinação de resíduos sólidos, reforçando a relevância desta variável ambiental para o cálculo do índice para esta espécie.

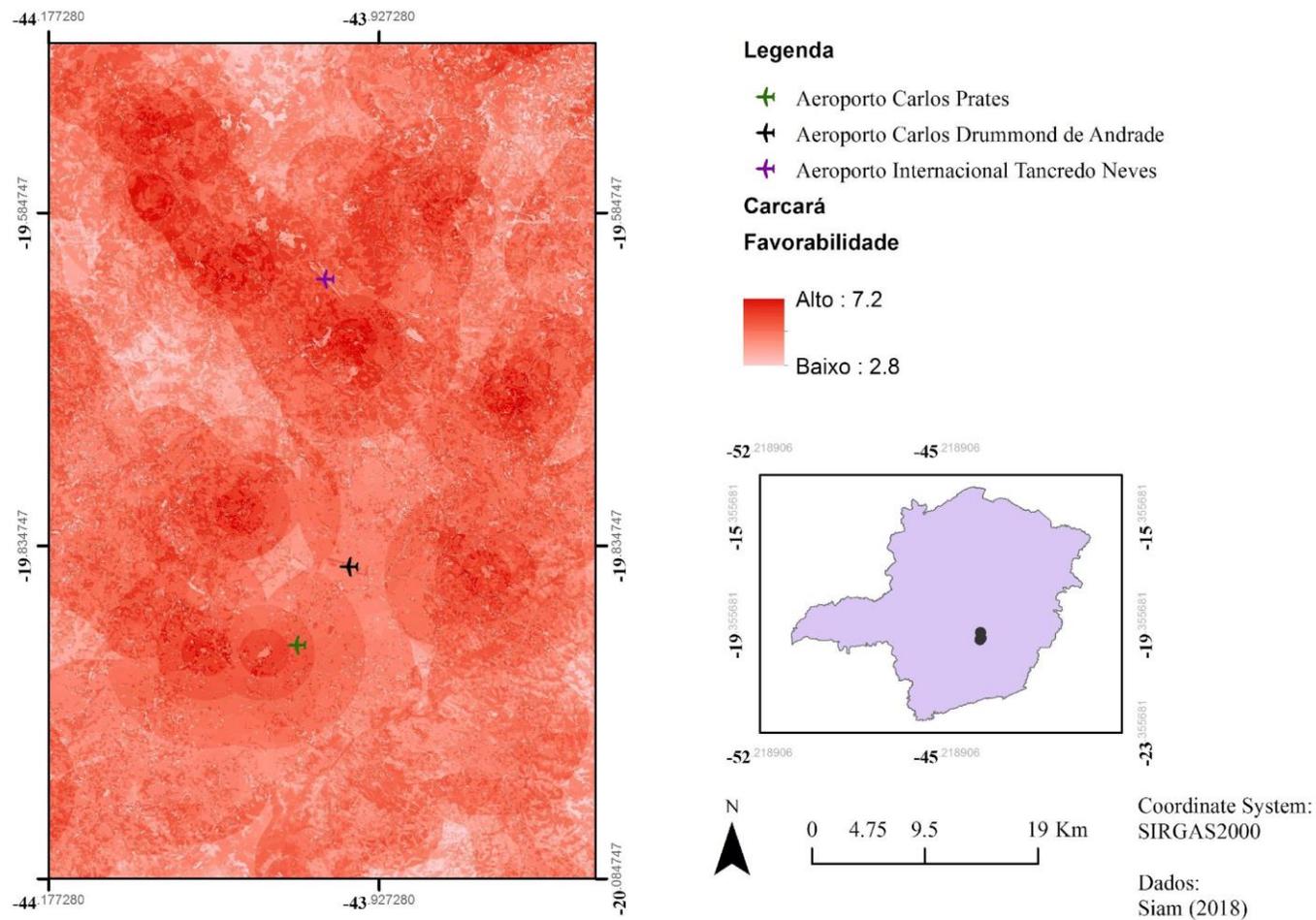


Figura 6. Mapa de favorabilidade de atração do carcará (*Caracara plancus*). Maiores favorabilidade estão localizadas nos pontos com coloração mais intensa.

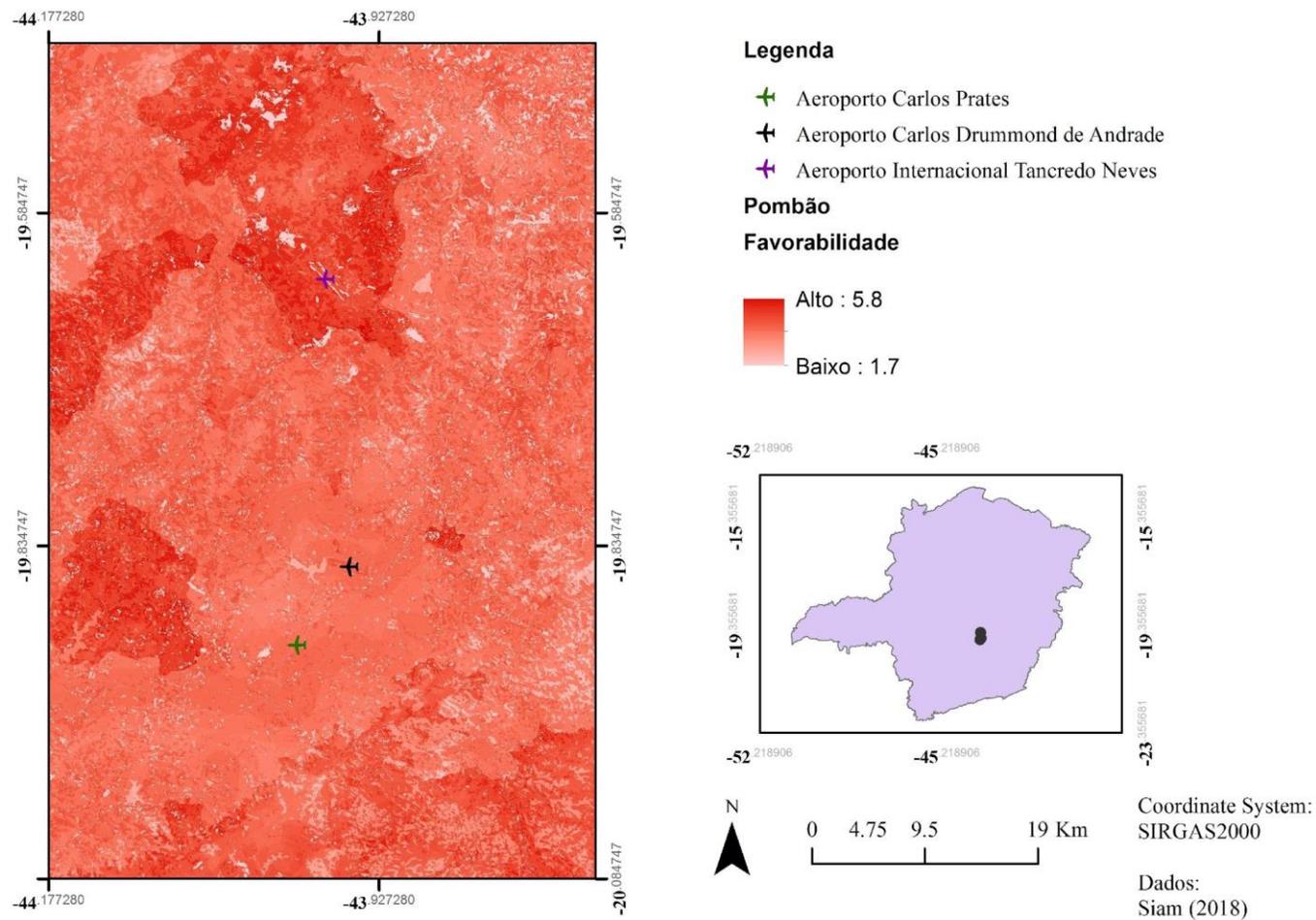


Figura 7. Mapa de favorabilidade de atração do pombão (*Patagioenas picazuro*). Maiores favorabilidade estão localizadas nos pontos com coloração mais intensa.

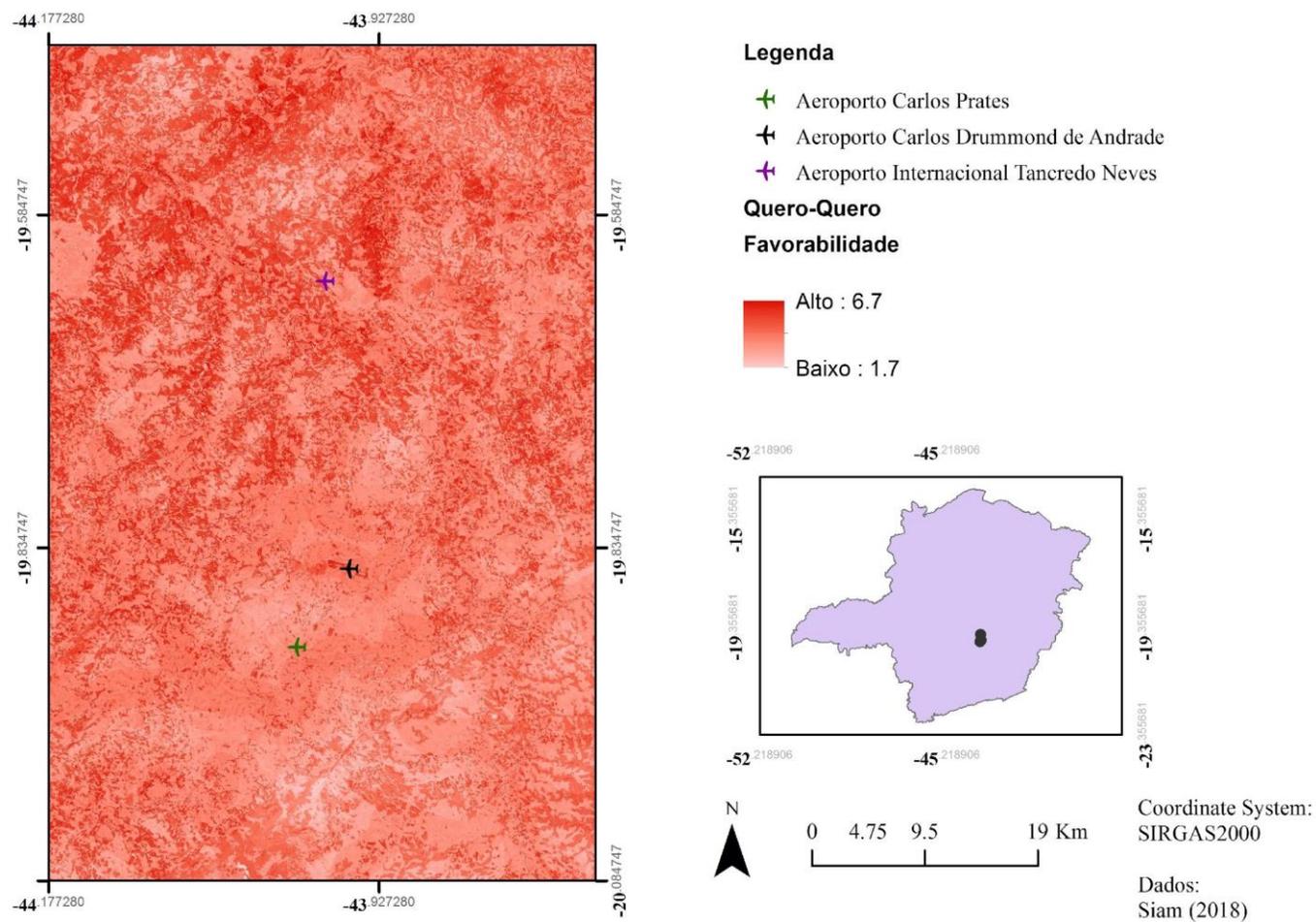


Figura 8. Mapa de favorabilidade de atração do quero-quero (*Vanellus chilensis*). Maiores favorabilidade estão localizadas nos pontos com coloração mais intensa.

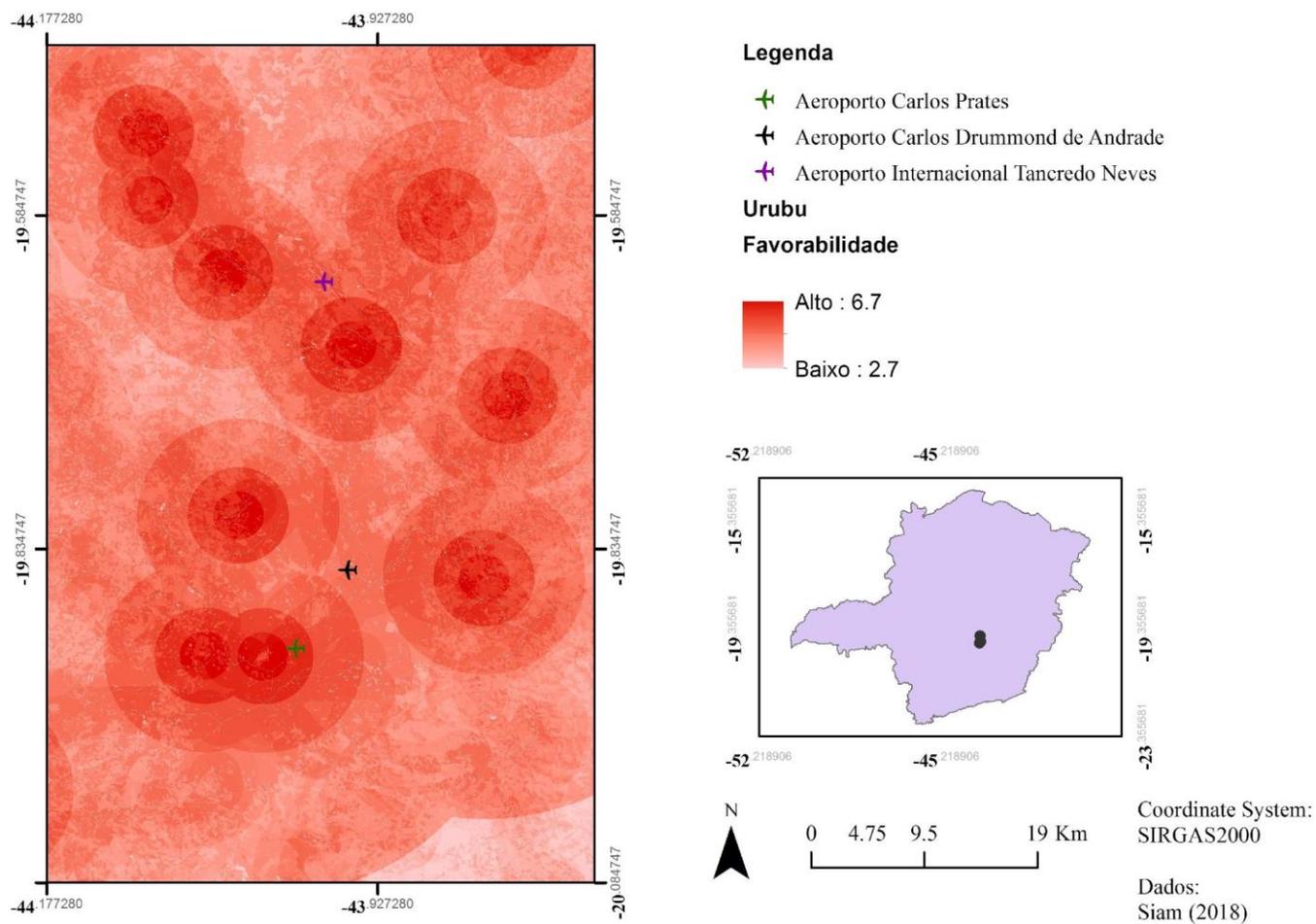


Figura 9. Mapa de favorabilidade de atração do urubu (*Coragyps atratus*). Maiores favorabilidade estão localizadas nos pontos com coloração mais intensa.

4.2. Composição das áreas de alta e baixa atração

Os mapas de favorabilidade foram submetidos à análise de *clusters*, na qual foram definidos os agrupamentos de valores altos e baixos. A definição de tais regiões possibilitou o levantamento da composição de CVUT e da densidade de vegetação.

Os dados relativos às áreas de alta probabilidade de atração para as quatro espécies, frente à cobertura da vegetação e uso do Terra (tabela 5), mostram que as classes “Campo Antrópico” e “Cerrado/Cerradão” compõe mais de 70% da área para o carcará e pombão. A influência de classes de vegetação aberta (“Campo Antrópico” e “Campo Cerrado”) para o quero-quero é elucidada pela cobertura de mais de 95% da área de maior probabilidade de atração. O espaço urbano encontra-se mais presente na composição de áreas para o urubu, que também apresenta grande abrangência de áreas de “Campo Antrópico”.

Tabela 5. Composição de CVUT das áreas de alta favorabilidade de atração., com representação de área total, em km², e relativa, em %.

	Carcará		Pombão		Quero-Quero		Urubu	
	km ²	%						
Água	2.7	0.4	0.4	0.1	6.8	1.5	4.9	0.7
Floresta Plantada	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1
Cerrado/Cerradão	140.9	23.2	162.0	32.5	8.3	1.8	130.4	18.3
Floresta Nativa	2.3	0.4	0.9	0.2	0.1	< 0.1	8.6	1.2
Campo Cerrado	64.6	10.6	50.1	10.1	51.4	11.3	45.6	6.4
Campo Antrópico	288.1	47.4	217.0	43.6	382.3	83.8	230.1	32.3
Solo	1.6	0.3	0.7	0.1	1.7	0.4	18.7	2.6
Urbano	107.1	17.6	66.9	13.4	5.6	1.2	274.1	38.5

Os dados da composição das áreas de baixa favorabilidade (tabela 6), retratam que as áreas florestadas (“Floresta Nativa” e “Cerrado”) cobriram a maior parte das áreas para as quatro espécies, com destaque para o quero-quero, o qual apresenta 75% dos baixos valores de atração cobertas por áreas deste tipo. O solo exposto cobre em torno de um terço das áreas para o pombão. Observa-se também que em torno de 25% da região analisada para o urubu está coberta por áreas de vegetação aberta (“Campo Antrópico” e “Campo Cerrado”).

Tabela 6. Composição de CVUT das áreas de baixa favorabilidade de atração, com representação de área total, em km², e relativa, em %.

	Carcará		Pombão		Quero-Quero		Urubu	
	km ²	%						
Água	11.7	2.1	11.2	4.9	1.5	0.3	12.4	1.7
Floresta Plantada	7.4	1.3	2.1	0.9	3.0	0.6	7.7	1.0
Cerrado/Cerradão	218.7	38.5	28.3	12.4	263.7	49.0	347.2	46.2
Floresta Nativa	117.5	20.7	79.0	34.5	141.1	26.2	133.0	17.7
Campo Cerrado	45.3	8.0	14.8	6.5	10.1	1.9	109.9	14.6
Campo Antrópico	53.8	9.5	2.9	1.3	3.6	0.7	89.5	11.9
Solo	52.4	9.2	81.0	35.4	20.3	3.8	35.4	4.7
Urbano	61.1	10.8	9.8	4.3	95.1	17.7	16.6	2.2

A composição da densidade da vegetação (tabelas 7 e 8), determinada a partir do cálculo do NDVI, para as áreas de alta e baixa probabilidade de atração, demonstrou que, para todas as espécies, observa-se que uma há uma concentração de áreas de alta atração, em torno de 50%, nas classes com menor densidade de vegetação (“Sem vegetação”, “Baixa” e “Baixa/Moderada”), sendo superior a 60% para o urubu.

Tabela 7. Composição de densidade de vegetação das áreas de alta favorabilidade de atração, com representação de área total, em km², e relativa, em %.

	Carcará		Pombão		Quero-Quero		Urubu	
	km ²	%						
Sem vegetação	47.2	7.8	17.2	3.5	14.3	3.1	114.5	16.1
Baixa	121.7	20.0	81.2	16.3	86.4	18.9	177.8	24.9
Baixa/Moderada	121.0	19.9	103.1	20.7	134.8	29.6	120.9	17.0
Moderada	86.8	14.3	70.8	14.2	86.4	18.9	81.4	11.4
Densa	64.1	10.6	55.2	11.1	52.2	11.4	58.7	8.2
Alta/Densa	166.5	27.4	170.6	34.2	82.0	18.0	159.3	22.4

O pombão apresenta maior cobertura de áreas com vegetação mais densa, abrangendo cerca de um terço da sua área de altos valores de atração. Na análise das áreas de baixo potencial de atração, observa-se predominância de áreas de maior densidade de vegetação para todas as espécies, que chega a valores superiores a 60% para o urubu e quero-quero.

Tabela 8. Composição de densidade de vegetação das áreas de baixa favorabilidade de atração, , com representação de área total, em km², e relativa, em %.

	Carcará		Pombão		Quero-Quero		Urubu	
	km ²	%						
Sem vegetação	27.6	4.9	24.8	10.8	37.6	7.0	12.3	1.6
Baixa	61.4	10.8	38.5	16.8	45.4	8.4	47.5	6.3
Baixa/Moderada	66.3	11.7	27.7	12.1	26.1	4.9	82.5	11.0
Moderada	50.0	8.8	16.0	7.0	26.4	4.9	76.8	10.2
Densa	43.4	7.6	10.6	4.6	32.6	6.1	71.7	9.5
Alta/Densa	319.1	56.2	111.5	48.7	370.4	68.8	460.8	61.3

4.3. Análise de variação entre os raios de distância

Nesta subseção, estão apresentados os resultados das análises comparativas realizadas a partir da determinação de raios a partir dos aeródromos. Os resultados estão demonstrados em forma de tabelas, com descrição das estatísticas e tendências observadas. Foram contempladas análises de (1) relação entre raio e áreas de alto e baixo potencial de atração, (2) correlação entre áreas de alto e baixo potencial de atração e (3) comparação entre os raios dos aeroportos, com base na favorabilidade.

4.3.1. Áreas de alto e baixo potencial de atração

Os resultados do teste de regressão linear simples na análise das áreas de alto potencial de atração nos raios para cada espécie e em cada um dos aeroportos estudados encontram-se resumidos na tabela 9..

Para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, o aumento da distância dos raios apresenta um efeito negativo sobre o percentual de áreas de alto potencial de atração para o carcará, urubu e pombão. O quero-quero apresentou valor não-significativo na análise da regressão, porém com tendência de efeito positivo, aproximado de zero.

As quatro espécies apresentaram tendência positiva para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade. Ressalta-se que para o quero-quero, os valores encontrados não foram significativos, contudo observando-se a mesma tendência.

Tabela 9. Regressão linear para análise das áreas de alto potencial em diferentes raios

Aeroporto	Espécie	B	F	p	R ²
Aeroporto Internacional Tancredo Neves	Carcará	-2.09	23.42	0.001*	0.714
	Pombão	-3.01	52.31	<0.001*	0.851
	Quero-quero	0.38	1.28	0.290	0.030
	Urubu	-1.54	33.12	<0.001*	0.781
Aeroporto Carlos Drummond de Andrade	Carcará	1.69	40.67	<0.001*	0.815
	Pombão	0.41	44.19	<0.001*	0.828
	Quero-quero	0.24	4.55	0.060	0.283
	Urubu	1.83	14.74	0.004*	0.604
Aeroporto Carlos Prates	Carcará	-1.47	10.81	0.011*	0.521
	Pombão	0.82	104.7	<0.001*	0.920
	Quero-quero	0.41	202.7	<0.001*	0.957
	Urubu	-3.28	56.02	<0.001*	0.859

*Significativo

A análise mostrou existência de dois padrões distintos de efeito da distância sobre as áreas de alto potencial de atração no Aeroporto Carlos Prates. Uma tendência negativa para essa relação foi encontrada para o urubu e carcará. Contudo, a mesma relação apresentou-se positiva, para o quero-quero e pombão.

Os resultados do teste de regressão linear simples na análise das áreas de baixo potencial de atração nos raios para cada espécie e para os aeródromos estudados estão apresentados na tabela 10. De uma maneira geral, os efeitos sofridos pelo percentual de áreas de baixo potencial de atração com aumento dos raios no Aeroporto Internacional Tancredo Neves foram opostos em relação às áreas de alto potencial de atração. O pombão, urubu e carcará apresentam esta tendência. O quero-quero apresentou efeito negativo sobre tal relação, porém com valores estatisticamente não-significativos.

Assim como ocorreu para os efeitos sobre as áreas de alto potencial de atração, a tendência observada para as quatro espécies foi positiva, no Aeroporto Carlos Drummond de Andrade.

A tendência de efeito positivo sobre as áreas de baixo potencial de atração também foi observada para o Aeroporto Carlos Prates. Para o pombão, o valor encontrado foi próximo a zero e classificados como não-significativo.

Tabela 10. Regressão linear para análise das áreas de baixo potencial em diferentes raios.

Aeroporto	Espécie	B	F	p	R ²
Aeroporto Internacional Tancredo Neves	Carcará	1.38	82.97	<0.001*	0.901
	Pombão	0.44	392.20	<0.001*	0.977
	Quero-quero	-0.22	2.05	0.190	0.104
	Urubu	1.50	178.30	<0.001*	0.952
Aeroporto Carlos Drummond de Andrade	Carcará	0.27	6.41	0.035*	0.375
	Pombão	0.21	23.87	0.001*	0.718
	Quero-quero	0.96	91.78	<0.001*	0.909
	Urubu	0.66	70.21	<0.001*	0.885
Aeroporto Carlos Prates	Carcará	0.67	42.23	<0.001*	0.821
	Pombão	0.11	3.16	0.11	0.194
	Quero-quero	0.48	19.74	0.002*	0.671
	Urubu	1.14	123.4	<0.001*	0.931

*Significativo

4.3.2. Correlação entre áreas de alto e baixo potencial de atração

Na comparação dos raios das áreas de alta e baixa favorabilidade de atração, notou-se tendências diferenciadas entre os três aeroportos. A tabela 11 apresenta as correlações entre as áreas de alto e baixo potencial de atração para os aeroportos estudados, de acordo com a espécie.

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves apresenta áreas de baixo e alto potencial de atração altamente correlacionados negativamente, para todas as espécies do estudo. Com isso, nota-se a tendência de diminuição percentual de áreas de baixo potencial de atração, com o aumento das áreas de alto potencial. Tal fator relaciona-se com a alta concentração de áreas de alto potencial no entorno deste aeródromo.

Uma percepção inversa foi notada para o aeroporto Carlos Drummond de Andrade, no qual existe correlação positiva entre as áreas de alto e baixo potencial de atração. Com isso, um aumento de concentração de áreas de alta favorabilidade nos raios, ocasiona em uma elevação no percentual de áreas de baixo risco. Entretanto, apenas a correlação para o pombão apresentou-se como estatisticamente significativa.

Relações distintas entre as espécies foram observadas nos dados do Aeroporto Carlos Prates. O urubu e carcará apresentaram correlação negativa na relação analisada. O quero-quero e o pombão apresentaram correlação com tendência positiva, sendo que para o último, não foi encontrado valor significativo.

Tabela 11. Correlação entre áreas de alto e baixo potencial de atração

Espécie	Aeroporto		
	A.I. Tancredo Neves	A.Carlos Drummond de Andrade	A. Carlos Prates
Carcará	-0.947*	0.488	-0.892*
Pombão	-0.946*	0.734*	0.338
Quero-quero	-0.982*	0.398	0.741*
Urubu	-0.966*	0.592	-0.823*

*Significativo

4.3.3. Correlação entre os aeródromos

Na análise comparativa entre os aeroportos estudados, diferentes padrões foram observados. As tabelas 12 e 13 resumem os resultados para as análises envolvendo áreas de alta e baixa favorabilidade de atração, respectivamente.

Tabela 12. Correlações entre os aeroportos estudados, em relação às áreas de alta favorabilidade de atração

Espécie	Aeroportos		
	A-B	A-C	B-C
Carcará	-0.834*	0.356	-0.735*
Pombão	-0.806*	-0.915*	0.922*
Quero-quero	-0.492	0.221	0.725*
Urubu	-0.534	0.701*	-0.939*

A – Aeroporto Internacional Tancredo Neves; B – Aeroporto Carlos Drummond de Andrade; C- Aeroporto Carlos Prates; *Significativo

A comparação entre o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade mostrou-se como uma correlação negativa para todas as espécies. Destaca-se que, para o quero-quero e urubu, as correlações encontradas foram não-significativas, contudo retratando a tendência negativa na relação.

Entre o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e o Aeroporto Carlos Prates, foi apresentada uma correlação positiva para o carcará, quero-quero e urubu, considerando-se apenas o último como valor estatisticamente significativo. Já para o pombão, a relação encontrada foi negativa.

Os valores de correlação calculados para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade e o Carlos Prates mostraram-se positivos para todas as espécies, exceto o urubu, que apresentou valor negativo na comparação.

Tabela 13. Correlações entre os aeroportos estudados, em relação às áreas de baixa favorabilidade de atração

Espécie	Aeroportos		
	A-B	A-C	B-C
Carcará	0.488	0.784*	0.683*
Pombão	0.805*	0.498	0.734*
Quero-quero	-0.661*	-0.791*	0.917*
Urubu	0.956*	0.991*	0.978*

A – Aeroporto Internacional Tancredo Neves; B – Aeroporto Carlos Drummond de Andrade; C- Aeroporto Carlos Prates; *Significativo

Das quatro espécies analisadas, apenas o quero-quero apresentou correlação negativa na comparação entre o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade. As demais espécies, apresentaram valores positivos, considerando-se que para o carcará o valor encontrado não foi estatisticamente significativo.

Entre o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e o Aeroporto Carlos Prates, foi apresentada uma correlação positiva para o carcará, pombão e urubu, considerando-se o valor estatisticamente não-significativo para o pombão. Já para o quero-quero, a relação encontrada foi negativa.

Para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade e o Carlos Prates, os valores de correlação mostraram-se positivos para todas as espécies.

5. DISCUSSÃO

5.1. Favorabilidade de atração

O carcará e urubu apresentaram mapas de favorabilidade nos quais as áreas de destinação de resíduos sólidos destacaram-se de forma expressiva. A forte associação da relação destes com áreas de resíduos sólidos é relatada na literatura (Spradley *et al.*, 2012; Sick, 1997). Para o carcará e urubu, destaca-se também a presença de rodovias. A direção das áreas remete à estrutura rodoviária da região, o que elucida a influência das rodovias sobre a presença destas espécies (Sick, 1997).

Para o pombão observa-se que o uso da terra tem uma forte influência sobre esta espécie, com maior destaque que outras variáveis ambientais, como por exemplo áreas destinação de resíduos. O mapa para esta ave elucida a influência de áreas hídricas sobre sua atratividade. Sigrist (2009) relata a ocorrência de concentração destes indivíduos nas proximidades de áreas hídricas, como açudes e banhados, o que corrobora com os resultados encontrados neste estudo.

O quero-quero também é influenciado fortemente pelo uso da terra no ambiente. Características físicas, como a presença de áreas hídricas e declividade do terreno mostraram-se possivelmente associadas à atratividade desta ave. A relação desta espécie com áreas hídricas corrobora com Sigrist (2009), que descreve a frequência desta espécie em ambientes como banhados, rios, praias, lagoas e até mesmo lagos artificiais.

5.2. Composição das áreas de favorabilidade

O carcará apresenta grande possibilidade de presença em áreas de campo antrópico e urbana. Tais áreas são espacialmente associadas com a distribuição de rodovias (Sick, 1997), um dos fatores de atração para esta espécie, que funcionam como um vetor para expansão destas classes de uso. As áreas de menor favorabilidade estão relacionadas às áreas florestadas, com alta densidade de vegetação, que constituem ambientes incomuns para a presença desta espécie (Sigrist, 2009).

O pombão é atraído por ambientes de campo antrópico e cerrado, com densidade de vegetação com variação. Estas classes de uso estão presentes expressivamente nas proximidades do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, o que torna-o suscetível à presença desta espécie. Por mais que esta espécie tenha tendência de acompanhar áreas de desmatamento (Sick, 1997), a sua presença está relacionada com a conversão destes ambientes com atividades humanas, como agriculturas e pastagens. Contudo, a modificação destes ambientes em solo exposto, provavelmente, faz com que haja redução da possibilidade de atração desta espécie.

O ambiente favorável para o quero-quero é caracterizado por áreas abertas, com vegetação rasteira e próxima a corpos hídricos (Costa, 2002). Esta caracterização é seguida ao observado no estudo, no qual as áreas de vegetação aberta, com densidade baixa ou moderada, mostrou-se atrativa à espécie. No entanto, áreas florestadas com elevada densidade de cobertura de vegetação são áreas com baixo potencial de atração para a espécie.

O urubu apresenta-se como ave com presença mais provável em ambientes de campo antrópico e urbano. Ambientes destes tipos caracterizam-se pela grande influência das atividades humanas, que por consequência acarretam na geração de resíduos e deposição materiais orgânicos que integram a dieta desta espécie (Spradley *et al.*, 2012). Áreas de cerrado e floresta com elevada densidade de vegetação apresentam baixa atração à espécie. Considerando-se que tais ambientes encontram-se mais afastados de ambientes urbanos e rodovias, e por consequência de áreas de destinação de resíduos, elucidam a baixa atratividade das mesmas, destacando-se que as áreas de resíduos apresentam maior influência para a espécie do que o uso da terra.

5.3. Análise de variação entre os raios de distância

Com base na análise das diferentes tendências sobre os efeitos do raio sobre a concentração de áreas de alta potencialidade de atração de aves, observa-se, no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, a correlação negativa existente para carcará, urubu e pombão. Para os dois primeiros, tal tendência está relacionada à forte presença de áreas de destinação de resíduos sólidos no entorno destes aeroportos. Desta forma, o distanciamento causado pelo aumento dos raios provoca uma redução na concentração de

áreas deste tipo, reduzindo a concentração de áreas de alta favorabilidade. Já para o pombão, esta tendência é explicada pela grande presença de áreas de campo antrópico no entorno do aeródromo, que é reduzida de acordo com o afastamento. Esta espécie associa-se fortemente com áreas de agricultura e outras atividades humanas, que caracterizam ambientes de campo antrópico, nas quais coletam sementes no solo e plantações para sua alimentação (Sigrist, 2009).

A tendência positiva, e próxima à zero, observada para o quero-quero tanto para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, como para os outros abrangidos neste estudo é explicada pela pequena área de vida deste animal, que se aproxima de apenas 0.6 km² (Kennedy *et al.*, 2014). Com isso, um aumento da área global não apresenta efeitos expressivos sobre o risco ocasionado por esta espécie.

Para o Aeroporto Carlos Prates, a mesma tendência de efeito das áreas de resíduos sobre a concentração de áreas de alto potencial de atração é observada para o carcará, uma vez que o aumento do raio proporciona em redução relativas de tais áreas.

Uma ponderação importante para este aeródromo e para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade é a localização destes, que é no interior de uma área urbana consolidada. Os efeitos de atração tendem a ser regidos pelo potencial deste tipo de classe de uso sobre a favorabilidade relacionada a cada espécie, ao considerar-se apenas a análise do uso da terra. Esta consideração torna-se mais preponderante ao avaliar-se o pombão e o quero-quero, elucidando o direcionamento positivo da relação para estas espécies nos dois aeródromos.

Os efeitos positivos da relação para o urubu e carcará, para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade são explicados da mesma forma que os outros aeródromos. As áreas de destinação de resíduos sólidos apresentam grande tendência de atração para estas espécies. Contudo, a localização do aeroporto torna-o mais afastado destas áreas de destinação. Com isso, nas suas proximidades, o potencial de atração é reduzido e com o aumento da distância, mais áreas de destinação são englobadas, elevando-se a concentração e áreas de alta favorabilidade de atração.

Considerando-se as áreas de baixa favorabilidade de atração, fica elucidado que o efeito das áreas de destinação de resíduos sólidos é reduzido, uma vez que estas associam-se fortemente à atração animal. De uma forma geral, observa-se uma tendência inversa no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em relação às áreas de alta

potencialidade. Já para os demais aeródromos, observa-se a tendência geral positiva, o que relaciona-se com a concentração de área urbana no entorno, e com a agregação de outras classes de uso a medida em que o raio é elevado.

As correlações entre as áreas de alto e baixo potencial, corroboram com as observações acima retratadas: as tendências inversas para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, coincidentes para o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade e com variação por espécie para o Aeroporto Carlos Prates. Este fator elucidada que a localização e padrões de uso determinam fortemente a atratividade animal da área. Porém, não existindo necessariamente relação de causa e efeito entre as áreas de alto e baixo risco de atração, que podem apresentar características e formações independentes entre si.

A comparação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves com o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade reforça a análise do efeito das áreas de destinação de resíduos sobre a probabilidade de atração. Tal efeito também pode ser observado na relação deste último aeródromo com o Aeroporto Carlos Prates, para as espécies urubu e carcará, assim como na associação positiva encontrada entre o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e o Aeroporto Carlos Prates.

As similaridades caracterizadas pela correlação positiva encontradas entre o Aeroporto Carlos Prates e Aeroporto Carlos Drummond de Andrade traz à tona a abrangência de meio urbano em seus entornos, assim como a proximidade espacial dos mesmos.

De uma forma geral, pode-se extrair diversas considerações sobre a determinação de raios de segurança para os aeroportos, como os definidos pelo ICAO (Bradbeer *et al.*, 2013), Cenipa (Brasil, 2011) e ACRP (Ward *et al.*, 2010). Entretanto, a necessidade de melhores avaliação e determinação destas áreas são propostas por este estudo. Os dados levantados retratam que diferentes composições de uso da terra, assim a presença de fatores ambientais, como áreas de destinação de resíduos sólidos e rodovias, apresentam efeito expressivo sobre a atratividade animal. Com isso, a determinação de áreas de segurança deve-se basear em uma criteriosa análise ambiental da área do entorno, para que seja possível um melhor dimensionamento do risco e abrangência dos fatores com maior efeito sobre a questão. Esta análise deve ser específica por ambiente aeroportuário, englobando as características ambientais do entorno, e direcionada para as principais espécies com potencial de ocorrência de acidentes. Um dimensionamento mais

adequado para as áreas de segurança tende a melhorar a eficiência das políticas de mitigação e controle de acidentes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões relacionadas ao controle de aves no entorno de aeroportos têm guiado estudos e fomentado diretrizes de planejamento para esta atividade. O risco aviário mostra-se um fator de importante consideração, em vista das consequências financeiras e ao bem-estar humano. Neste estudo, elucidou-se as particularidades do ambiente do entorno de aeródromos e seus possíveis efeitos sobre a atração de avifauna para estes locais.

A consideração da análise do ambiente sob a perspectiva comportamental de aves tornou-se um desafio para este estudo. A inclusão da avaliação de especialistas fomentou as análises do estudo, permitindo uma maior adequabilidade aos métodos propostos. A associação do *knowledge-driven evaluation* com análise espacial, possibilitou a seleção de áreas nas quais o potencial de atração de aves se destaca.

Importantes tendências observadas no estudo apresentam potencial de auxílio na formatação de políticas e planejamento do uso do espaço. A relevância das áreas de destinação de resíduos sólidos sobre o uso da terra, demonstra a necessidade de criação de critérios mais rígidos, garantindo maior distanciamento para as instalações aeroportuárias. Mudanças na paisagem também apresentaram-se como fator de destaque, uma vez que áreas com grande perturbação, como o caso do campo antrópico, mostraram-se como atrativos para aves.

A determinação de áreas de segurança também mostrou-se um fator a ser discutido. As análises realizadas por este estudo mostraram que a seleção de áreas deve ser guiada por análises ambientais fundamentadas, considerando-se as características físicas e espécies presentes no ambiente em questão. Uma visão abrangente da questão sugere a realização de análises individualizadas, de acordo com o aeródromo, de forma que os resultados obtidos permitam um direcionamento efetivo de ações de mitigação de acidentes.

A metodologia apresentada neste estudo mostrou-se eficiente para a análise do ambiente e avaliação do uso da terra como fator de atração para aves. Estudos das paisagens e suas modificações devem ser incentivados no setor aeroportuário, uma vez que o risco aviário apresenta-se como uma questão que pode englobar dimensões maiores do que locais.

Por fim, para um maior aprofundamento dos tópicos levantados por este estudo, é recomendado:

- o englobamento da dinâmica temporal na análise ambiental, com objetivo de verificar-se como as modificações no ambiente afetam a atração de aves;
- a inclusão de outras variáveis ambientais, para um maior poder de explicação das características do ambiente sobre as questões levantadas;
- a inclusão do fator repulsão, uma vez que podem causar efeitos sobre as áreas de potencial atração de espécies;
- a análise de um maior número de aeródromos, em regiões distintas, para que seja avaliada a eficiência da metodologia frente a ambientes com diferentes características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J.R. *The costs of birdstrikes and birdstrike prevention*. In: Clarke, L. (Org.). *Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations*. US Department of Agriculture, National Wildlife Research Centre, Colorado, p.147-153, 2002.
- Alves, C.J.P. Zonas de Proteção do Aeródromo. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2014. Disponível em: <www2.ita.br/~claudioj/pzpa.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2017.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Hidroweb: Arquivos Digitais. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em 05 ago. 2017.
- Antrop, M.; Van Eetveld, V. *Holistic aspects of suburban landscapes, visual image interpretation and landscape metrics*. **Landscape Urban Planning**. Amsterdam, v. 50, 2000.
- Arana, A.R.A.; Hespanhol, R.M. Resíduos Sólidos Urbanos, Meio Ambiente e Risco Aviário: o caso do aeroporto estadual de Presidente Prudente/SP. **Geografia**, v. 24, n.1, p-107-124, 2015.
- Assis, L.C. Uso de Informações Contextuais no Processo de Classificação de Imagens do Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- Babykalpana, Y.; Thanushkodi, K. *Supervised/Unsupervised classification of LULC using remotely sensed data for Coimbatore City, India*. **International Journal of Computer Applications**, v. 2, n.7, 2010, p. 26-30.
- Baptista, L.F., Trail, P.W., Horblit, H.M.; Boesman, P. *Picazuro Pigeon (Patagioenas picazuro)*. In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (Org.). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona, 2017. Disponível em: <<https://www.hbw.com/node/54129>>. Acesso em: 24 dez. 2017.
- Barros, R.T.de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte, Tessitura, 2012.
- Beluco, A. Classificação de imagens de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- Bierregaard, R.O., Jr; Marks, J.S. Southern Caracara (*Caracara plancus*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. e Juana, E. de. (Org.). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona. Disponível em: <<http://www.hbw.com/node/53193>>. Acesso em 25 fev. 2017.

Blackwell, B.F., Schafer, L.M.; Helon, D.A.; Linnell, M.A. *Bird use of stormwater-management ponds: Decreasing avian attractants on airports. **Landscape and Urban Planning***, v. 86, p. 162-170, 2008.

Blackwell, B.F.; DeVault, T.L.; Fernandez-Juricic, E.; Dolbeer, R.A. *Wildlife collisions with aircraft: A missing component of land-use planning for airports. **Landscape and Urban Planning***, v. 93, p. 1-9, 2009.

Bradbeer, D.; Ryan, E.; Witter, I.; Patjin, S.; Oh, X. **Wildlife hazard management handbook**. 2. ed. Montreal, Canadá: ACI, 2013.

Brasil. Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1998.

Brasil. Lei 9985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225 §1º incisos I, II, III e VII da Constituição e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e dá outras providências. Brasília, 2000.

Brasil. Ministério da Defesa. Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, PCA 3-2. Comando da Aeronáutica, Brasília, 2011.

Brasil. Lei 12725, de 16 de outubro de 2012. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Brasília, 2012.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Parecer Técnico da Ratificação pelo Ministério do Meio Ambiente da proposta de uma Lista de Espécies Nocivas à Aviação enviada pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA. Brasília, 2013.

Brasil. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil, RBAC n. 164. Brasília, 2014a.

Brasil. Ministério da Defesa. Anuário estatístico do tráfego aéreo. Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 2014b.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 466 de 05 de fevereiro de 2015. Estabelece diretrizes e procedimentos para elaboração e autorização do Plano de Manejo de Fauna em Aeródromos e dá outras providências. Brasília, 2015a.

Brasil. Ministério da Defesa. Portaria 957, de 9 de julho de 2015. Comando da Aeronáutica, Brasília, 2015b.

Brasil. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Assessoria de Gerenciamento de Risco de Fauna. Ranking Brasileiro de Severidade Relativa de Espécies de Fauna. Brasília, DF, 2016.

Braz, V. da S. Ecologia e conservação das aves campestres do bioma cerrado. Tese de doutorado (Doutorado em Ecologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.

Boratto, I.M.deP.; Gomide, R.L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2013, p. 7345-7352.

Cleary, E. C.; Dolbeer, R. A. **Wildlife hazard management at airports, a manual for airport personnel**. Second edition. U.S.Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards. Washington, D.C., 2005

Coelho, G.D.G. Questões Teóricas e Práticas Sobre o Controle do Uso do Solo no Entorno de Aeródromos: Estudo de Caso do Aeroporto Oscar Laranjeiras, Caruaru – PE. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, n.1, 1991. p. 35-46.

Costa, L.C.M. O Comportamento Interespecífico de Defesa do Quero-quero, *Vanellus chilensis* (Molina, 1782) (Charadriiformes, Charadriidae). **Revista de Etologia**, v.4, n.2. 2002. p. 95-108.

Davis, P. A.; Major, E.R.; Jacobowitz, H. An Assessment of Nimbus-7 Erb Short Wave Scanner Data by Correlative Analysis with Narrow Band CZCS Data. **Journal of Geophysical Research**, v. 89, p. 5077-5088, 1984.

DeVault, T.L.; Seamans, T.W.; Schmidt, J.A.; Belant, J.L.; Blackwell, B.F.; Mooers, N.; Tyson, L.A.; Pelt, L.V. Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: Implications for avian safety. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 122-128, 2014.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Mapas multimodais. Disponível em: <www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>. Acesso em 05 ago. 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979.

Forman, R.T.T.; Sperling, D.; Bissonette, J.A.; Clewenger, A.P.; Cutshall, C.D.; Dale, V.H. **Road ecology: science and solutions**. Island Press, Washington, 2002. 504 p.

Gaston, K.J.; Davies, Z.G.; Edmondson, J.L. *Urban environments and ecosystem function*. In: Gaston, K.J. (Org.). **Urban Ecology**. Nova York: Cambridge University Press, 2010. cap. 3. p. 35-52.

Houston, D., Kirwan, G.M. & Boesman, P. American Black Vulture (*Coragyps atratus*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. e Juana, E. de. (Org.). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona. Disponível em: <<http://www.hbw.com/node/52943>> . Acesso em 25 fev. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas e bases cartográficas. Disponível em: <mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>. Acesso em: 31 jan. 2017.

IBSC - *International Bird Strike Committee. Recommended Practices nº1: Standards for Aerodrome Bird/Wildlife Control. Issue 1, 2006.*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto TOPODATA. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 07 ago. 2017.

Kennedy, C.M.; Sochi, K.; Baumgarten, L.; Howthorne, P.L.; Miteva, D.A. Biodiversity Model applied to the Brazilian cerrado. *The Nature Conservancy*, 2014.

Landis, J. R.; Koch, G. G. *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

Lopes, C.R.G. Modelagem do uso e conservação dos recursos da geodiversidade no município de São Thomé das Letras-MG. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

Lopez-Lago, M.; Casado, R.; Bermudez, A.; Serna, J. *A predictive model for risk assessment on imminent Bird strikes on airport areas. Aerospace Science and Technology*, v. 62, p. 19–30, 2017.

Marateo, G.; Grilli, P.; Bouzas, N.; Ferretti, V.; Juarez, M.; Soave, G.E. *Habitat use by birds in airports: a case study and its implications for bird management in South American airports. Applied Ecology and Environment*, v.13, n.3, 2015. p. 799-808.

Martins, E. De S.; Reatto, A.; Carvalho Jr., O.A. De; Guimarães, R. F. **Ecologia de paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 2004.

McKiney, M.L. *Urban futures*. In: Gaston, K.J. (Org.). *Urban Ecology*. Nova York: Cambridge University Press, 2010. cap. 12. p. 287-308.

Milson, T.P.; Horton, N. *Birdstrike: An assessment of the hazard on UK civil aerodromes 1976-1990. Central Science Laboratory*, Sand Hutton, York, UK, 1995.

Mittermeier, R.A.; Robles, G.P.; Mittermeier, C.G. *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. CEMEX, Conservation International, and Agrupación Sierra Madre*, 1999.

Morais, F.J.A. de. Método de Avaliação do Risco Aviário em Aeroportos. Dissertação (Mestrado Profissional em Segurança da Aviação e Aeronavegabilidade Continuada). Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2012.

Moura, A.C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análises multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, Florianópolis, 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 2899-2906.

NTSB – *National Transportation Safety Board. Loss of thrust in both engines after encountering a flock of birds and subsequent ditching on the Hudson River US Airways*

Flight 1549 Airbus A320 – 214, N106US, Weehawken, New Jersey, January 15, 2009. NTSB/AAR-10/03. Washington D.C., NTSB, 2010.

Oliveira, J.C.de; Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R.; Epiphany, J.C.N. Avaliação e comparação quantitativa de segmentações por meio do índice IAVAS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XI, Belo Horizonte, MG. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2003, p. 2111-2117.

Parker, P.G.; Waite, T.A.; Decker, M.D. *Kinship and association in communally roosting black vultures*. **Animal Behavior**. v. 49, 1995, p-395-401.

Pimentel, R.G. Influência de fatores biogeográficos sobre a sensibilidade de espécies de aves à fragmentação do habitat. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciências, Área de Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Reddy, M.A. **Remote Sensing and Geographical Information Systems**. 3 ed. Hyderabad: BS Publications, 2008.

Richards, J.A.; Jia, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction**. 4 ed. Heildeberg: Springer, 2006.

Sadler, J.; Bates, A.; Hale, J.; James, P. *Bringing cities alive: the importance of urban green spaces for people and biodiversity*. Warren, P.S.; Harlan, S.L.; Boone, C.; Lerman, S.B.; Shochat, E.; Kinzig, P. *Urban ecology and human social organization*. In: Gaston, K.J. (Org.). **Urban Ecology**. Nova York: Cambridge University Press, 2010. cap. 10. p. 230-260.

Santos, A.A. dos. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

Sick, H. **Ornitologia brasileira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 912 p.

SIAM - Sistema de Informações Ambientais do Estado de Minas Gerais. Dados Georreferenciados. Disponível em: <www.siam.mg.gov.br>. Acesso em: 31 jan. 2017.

Sigrist, T. **Avifauna brasileira**: Descrição das espécies. Vinhedo: Editora Avis Brasilis, v. 1, 2009. 600 p.

Skulmoski, G.J; Hartman, F.T.; Krahn, J. *The Delphi Method for Graduate Research*. **Journal of Technology Education**, v. 6, 2007.

Snep, R.; Opdam, P. *Integrating nature values in urban planning and design*. In: Gaston, K.J. (Org.). **Urban Ecology**. Nova York: Cambridge University Press, 2010. cap. 11. p. 261-286.

Souza, C.A.F. Procedimentos de Gestão Ambiental em Aeroportos. Trabalho de Conclusão de Curso. (Especialização em Gestão da Aviação Civil). Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

Spradley M.K.; Hamilton, M.D.; Giordano, A. *Spatial patterning of vulture scavenged human remains. Forensic Science International*, v. 219, 2012, p-57-63.

Teixeira, C.P. Biodiversidade. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre). Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

Thorpe, J. *Fatalities and Destroyed Civil Aircraft Due Bird Strikes, 1912-2002. International Bird Strike Committee*. Varsóvia, 2003.

United States. Department of Army. *Remote Sense: engineer manual*. Washington, D.C.: US Army Corps of Engineers, 2003.

Ward, S.A.D.; Massey, R.A.; Feldpausch, A.E.; Puchacz, Z.; Duerksen, C.J.; Heller, E.; Miller, N. P.; Gardner, R.C.; Gosling, G.D.; Sarmiento, S.; Lee, R.W. *ACRP Report 27, Enhancing Airport Land Use Compability*. v. 1. Washington, D.C.: TRB, 2010.

Warren, P.S.; Harlan, S.L.; Boone, C.; Lerman, S.B.; Shochat, E.; Kinzig, P. *Urban ecology and human social organization*. In:Gaston, K.J. (Org.). *Urban Ecology*. Nova York: Cambridge University Press, 2010. cap. 8. p. 173-201.

Washburn, B.E. *Avian use of solid waste transfer stations. Landscape and Urban Planning*, v. 104, p. 368-394, 2012.

Washburn, B.E.; Cisar, P.J.; DeVault, T.L. *Wildlife strikes to civil helicopters in the US, 1990-2011. Transportation Research Part D*. v. 83, p. 83-88, 2013.

Wheadon, C. *Classification accuracy and consistency under item response theory models using the package classify. Journal of Statistical Software*, v. 56, n. 10, 2014. p. 1-14.

Wiersma, P.; Kirwan, G.M. Southern Lapwing (*Vanellus chilensis*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A.; Juana, E. de. (Org.). *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Edicions, Barcelona. Disponível em: <<http://www.hbw.com/node/53814>>. Acesso em 25 fev. 2017.

ANEXO I – Mapas das variáveis ambientais aplicadas na análise multicritério

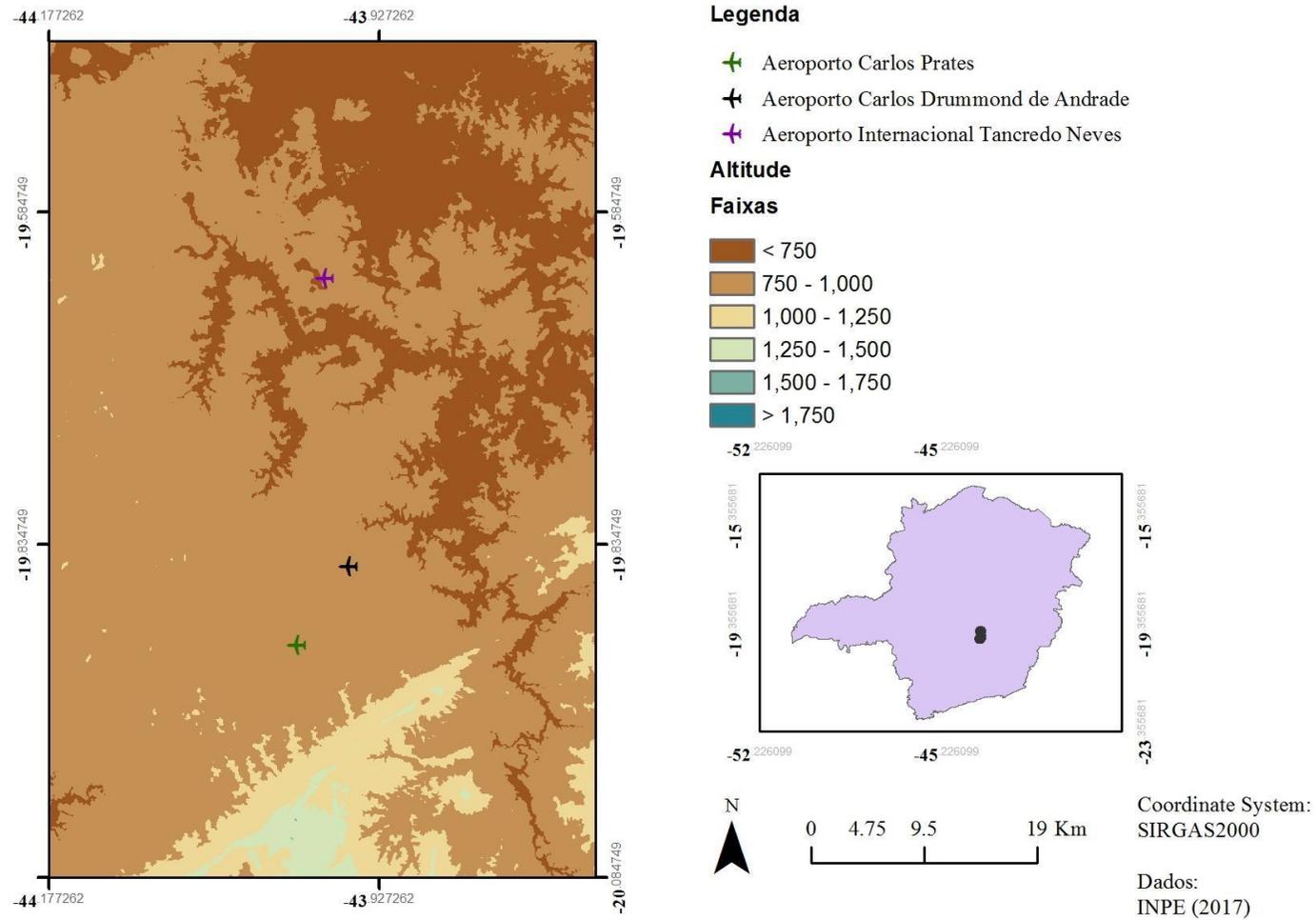


Figura 10. Mapa de altitude da área de estudo

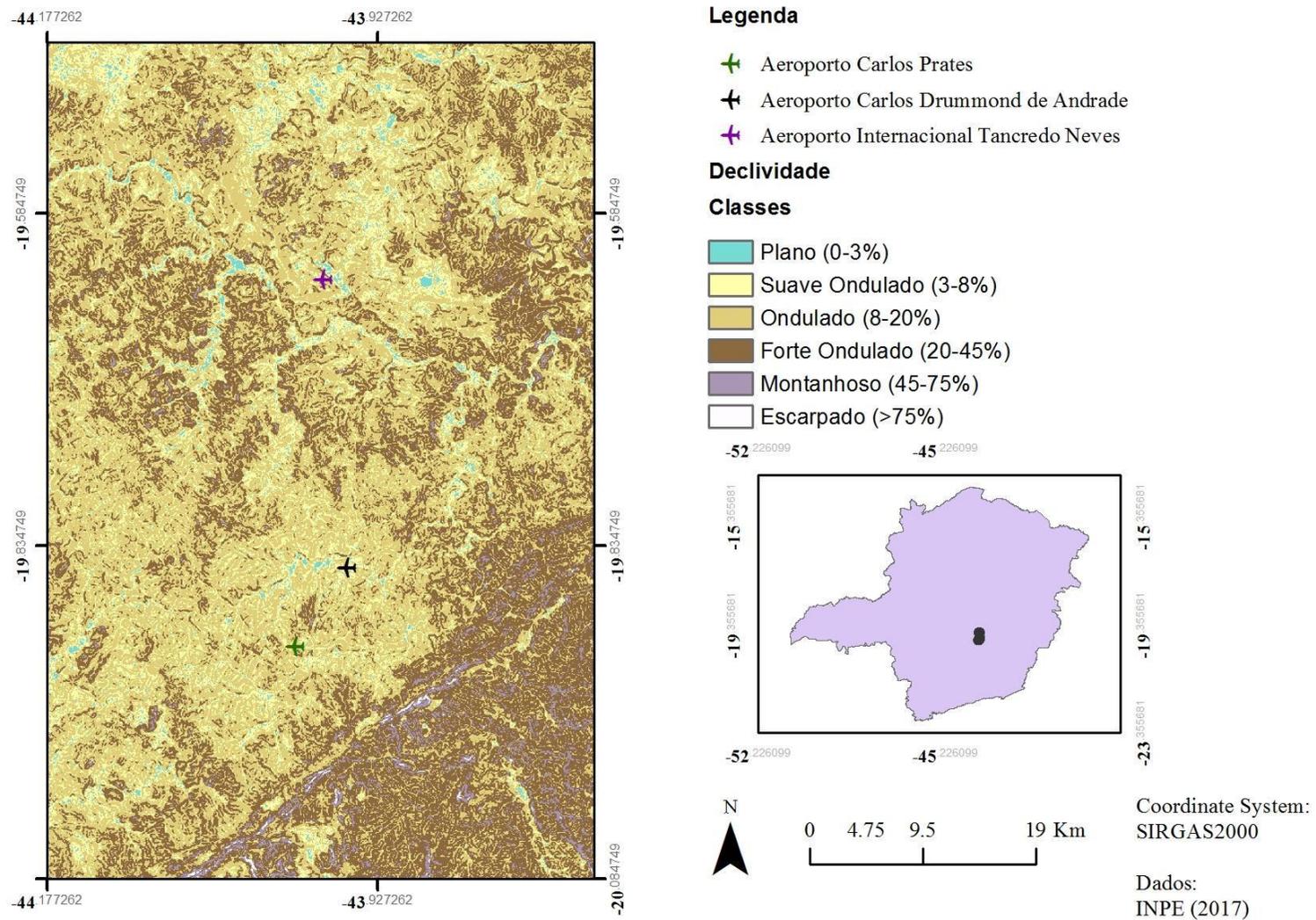


Figura 11. Mapa de declividade da área de estudo

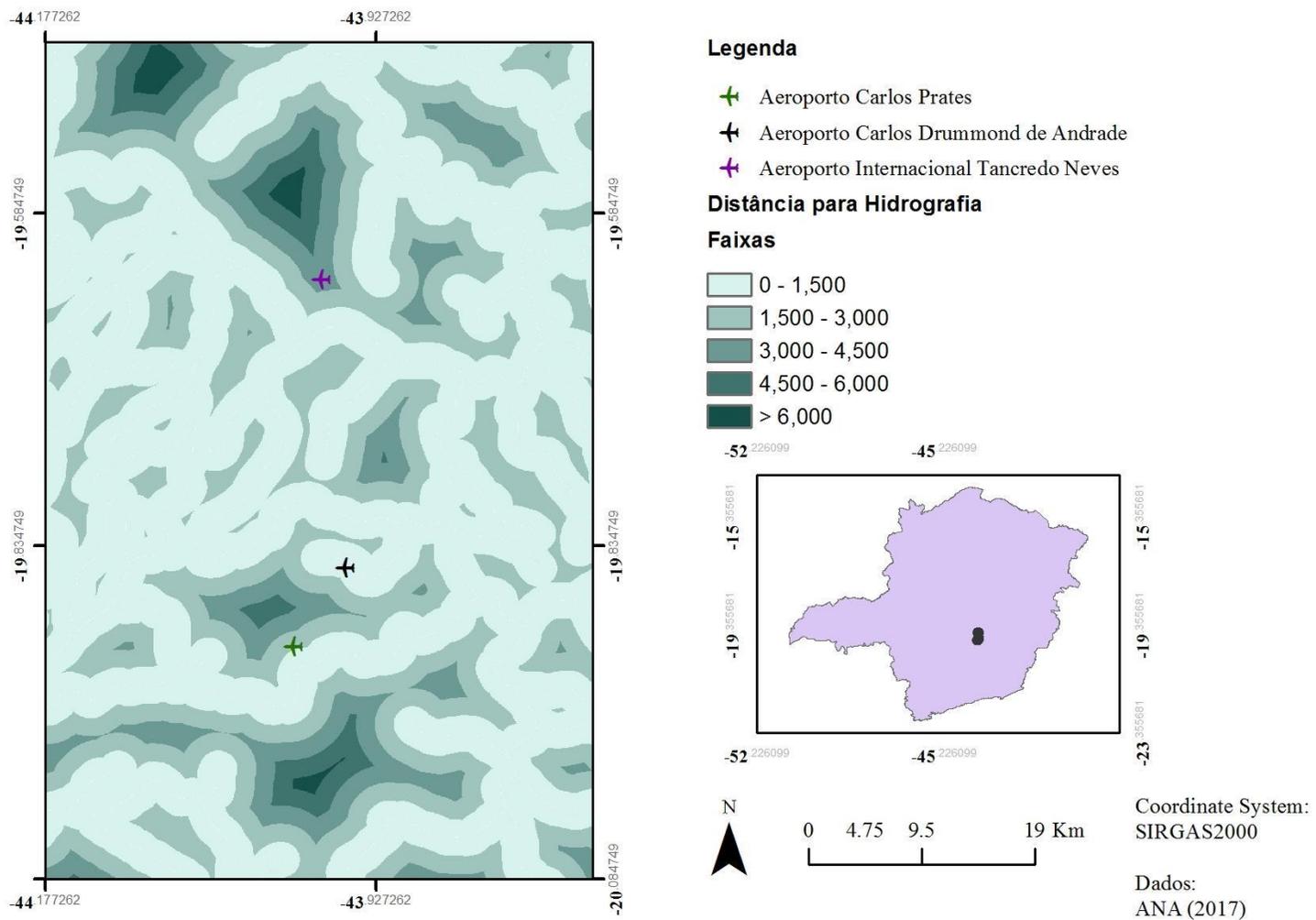


Figura 12. Distância para rede hidrográfica

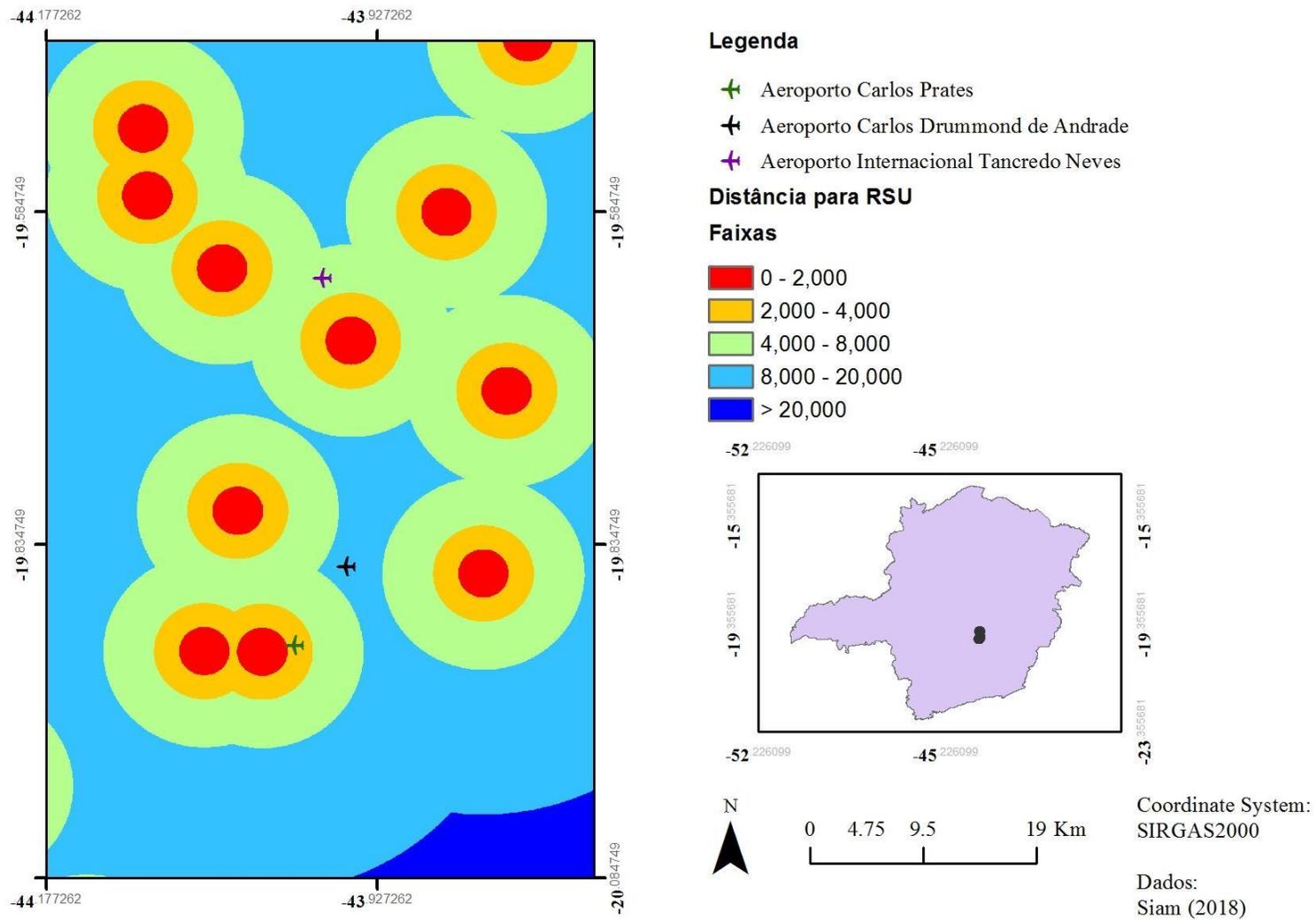


Figura 13. Distância para áreas de destinação de resíduos sólidos urbanos

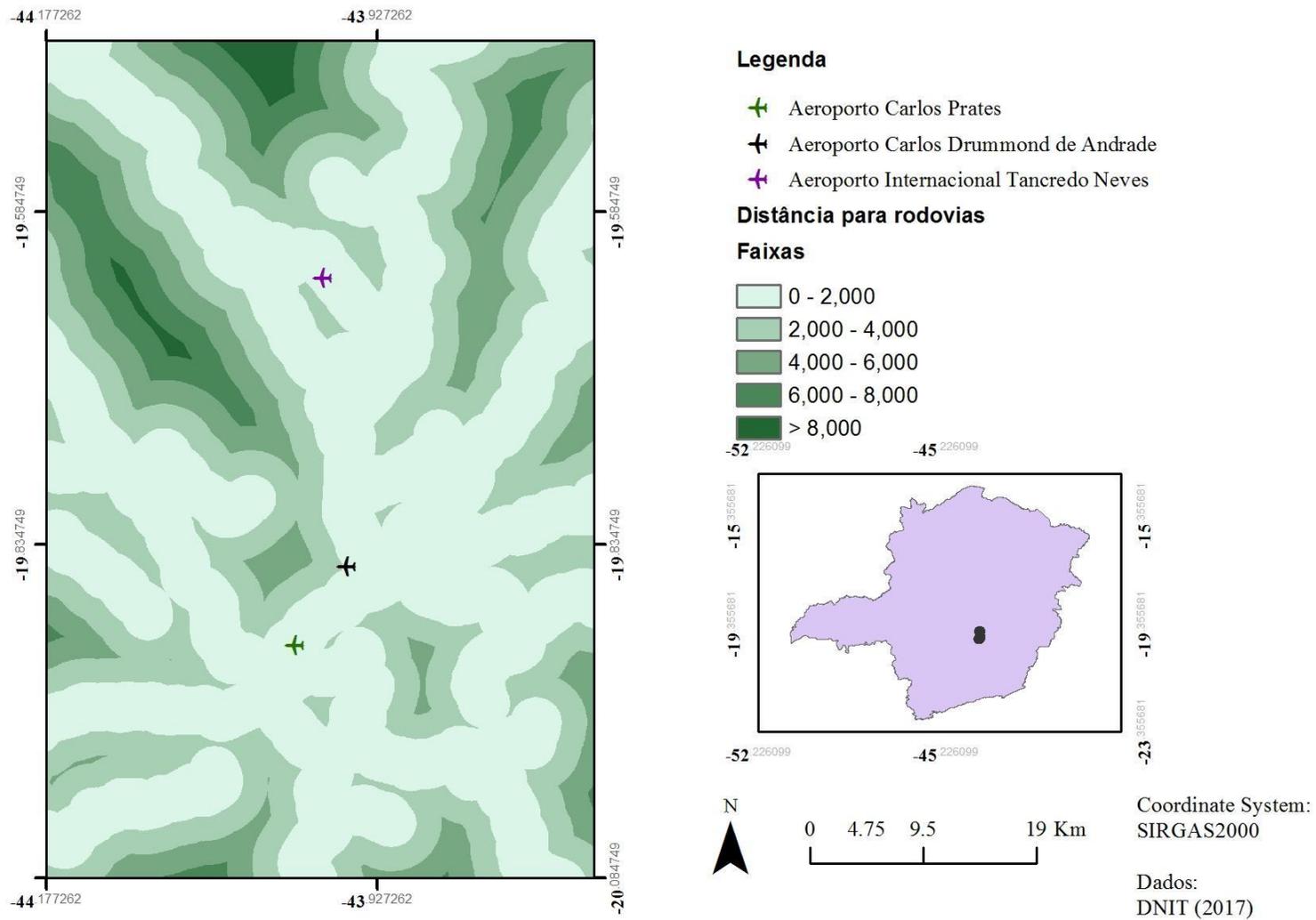


Figura 14. Distância para rodovias

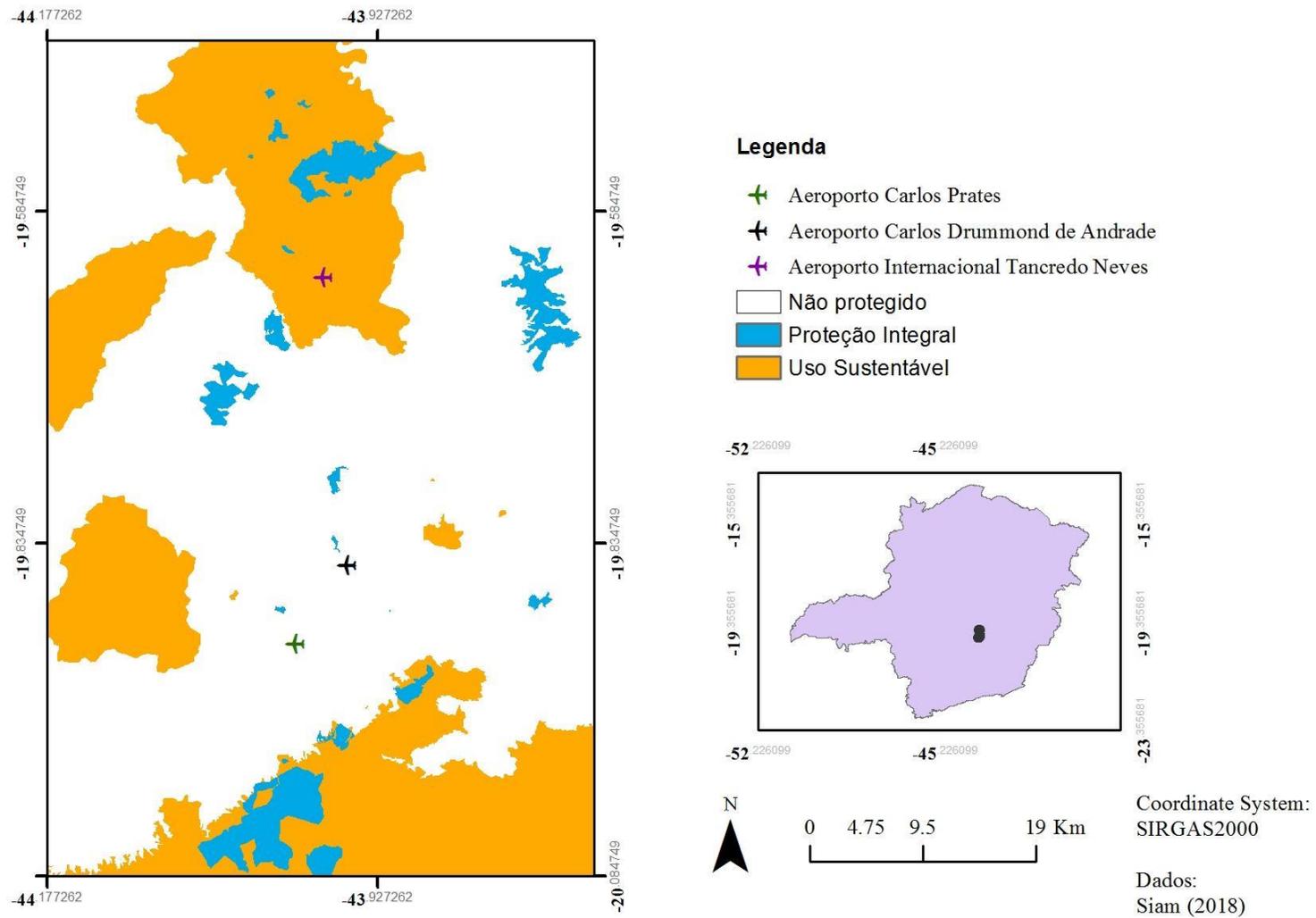


Figura 15. Tipologias de unidades de conservação na área de estudo

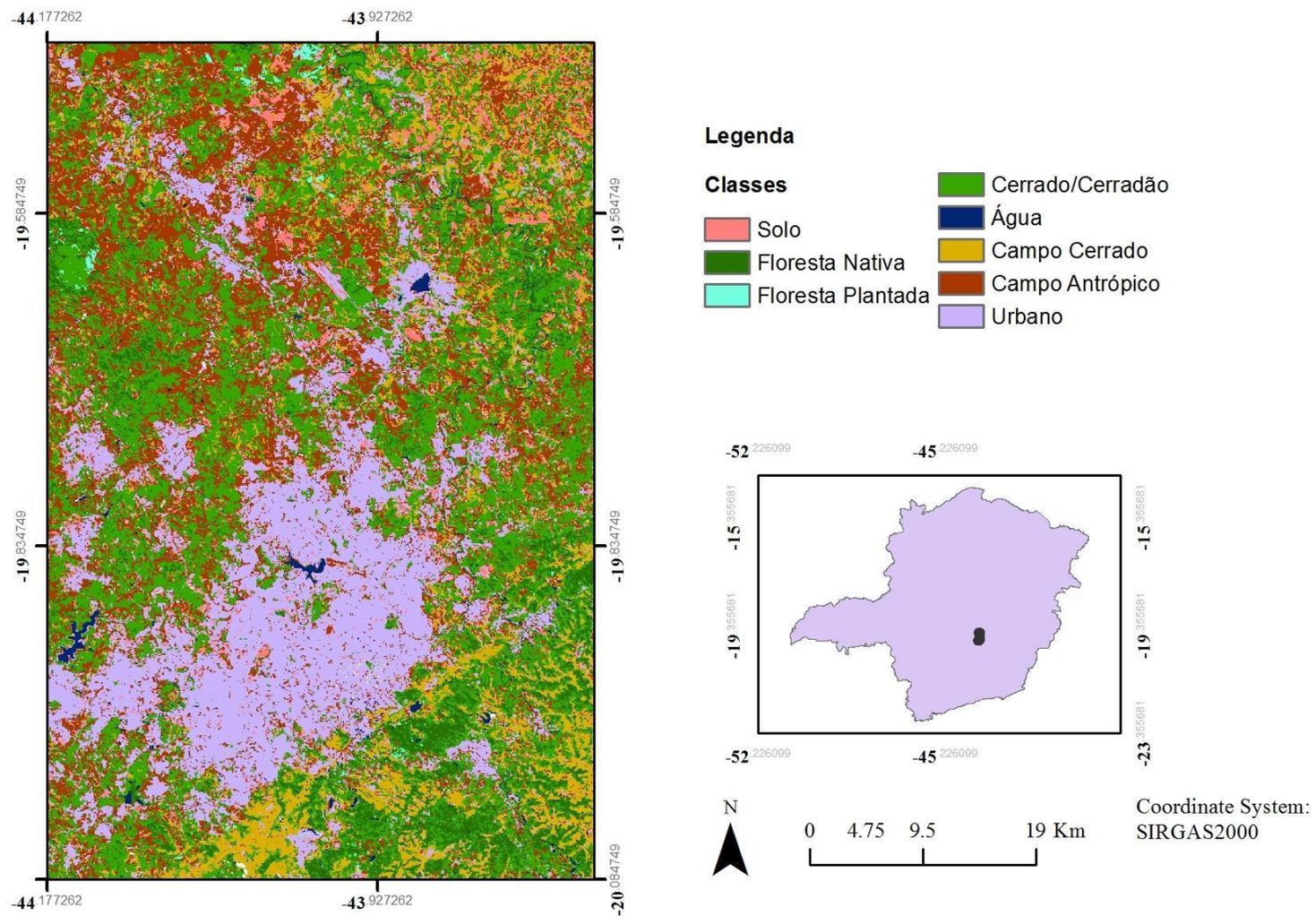


Figura 16. Mapa de cobertura de vegetação e uso da terra na área de estudo

ANEXO II – Ficha de avaliação de pesos e notas para área de estudo

Tabela 14. Ficha de notas para classes das variáveis ambientais

Variável	Classe	Nota
Altimetria	625 - 750 m	
	750 - 1000 m	
	1000 - 1250 m	
	1250 - 1750 m	
	Acima de 1750 m	
Declividade	Plano (0 - 3%)	
	Suave Ondulado (3 - 8%)	
	Ondulado (8 - 20%)	
	Forte Ondulado (20 - 45%)	
	Montanhoso (45 - 75%)	
	Escarpado (acima de 75%)	
Distância para Cursos D'Água	0 - 1500 m	
	1500 - 3000 m	
	3000 - 4500 m	
	4500 - 6000 m	
	Acima de 6000 m	
Distância para Rodovias	0 - 2000 m	
	2000 - 4000 m	
	4000 - 6000 m	
	6000 - 8000 m	
	Acima de 8000 m	
Distância para Unidades de Destinação de RSU	0 - 2000 m	
	2000 - 4000 m	
	4000 - 8000 m	
	8000 - 20000 m	
	Acima de 20000 m	
UC	Proteção Integral	
	Uso Sustentável	
CVUT	Solo	
	Água	
	Urbano	
	Campo Antrópico	
	Campo Cerrado	
	Cerrado/Cerradão	
	Floresta Nativa	
	Floresta Plantada	

Tabela 15. Ficha para determinação de pesos para as variáveis ambientais

Variável	Peso
Altimetria	
Declividade	
Distância para Cursos D'Água	
Distância para Rodovias	
Distância para Unidades de Destinação de Resíduos Sólidos	
Unidades de Conservação	
Uso e Cobertura do Solo	

ANEXO III – Mapa de densidade de vegetação na área de estudo

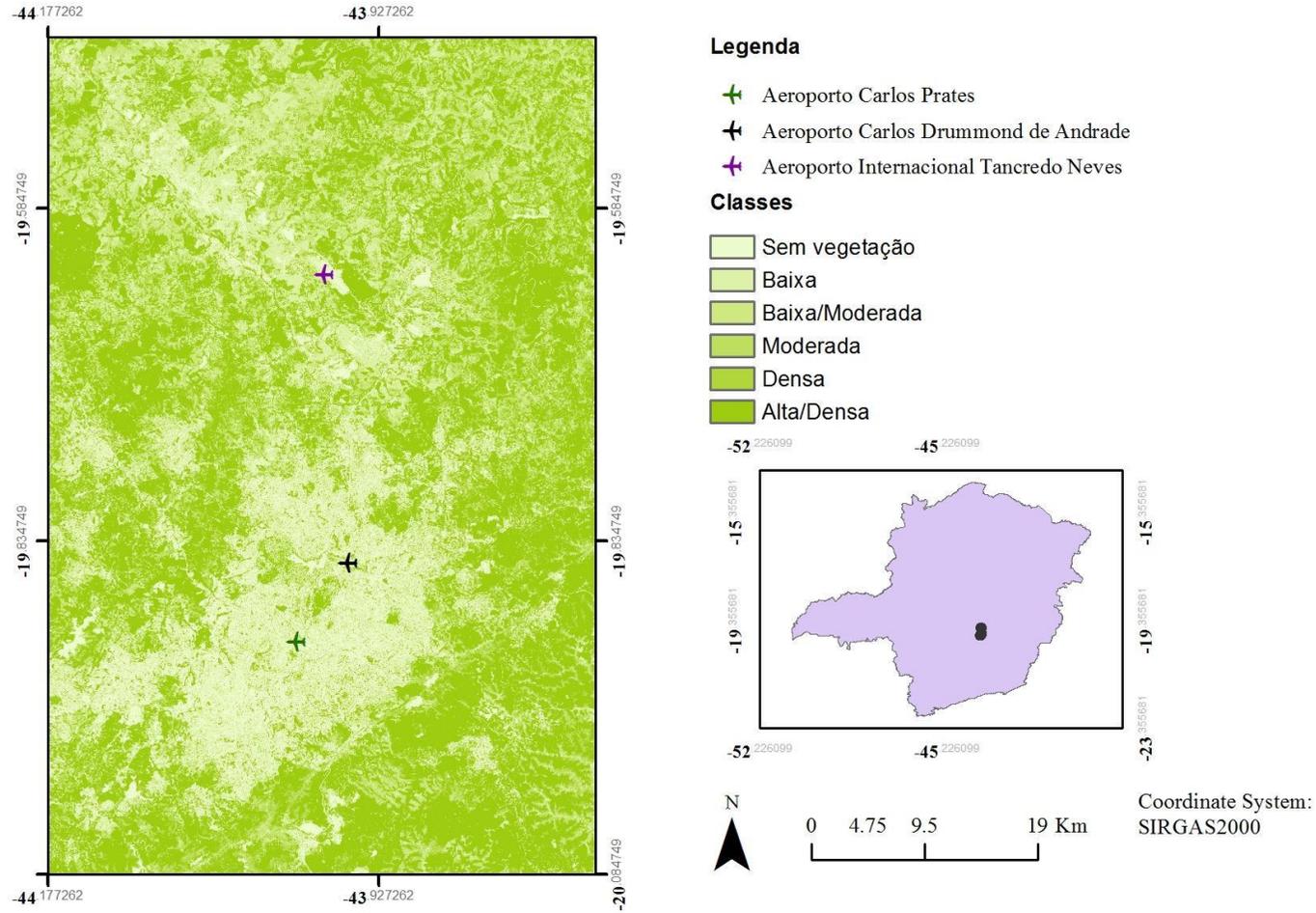


Figura 17. Densidade de vegetação