



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de
extinção no Cerrado brasileiro**

Camila Oliveira Rocha

Brasília

Maior/2024



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de extinção no Cerrado brasileiro

Camila Oliveira Rocha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.
Orientador: Ricardo Bomfim Machado

Brasília
Maio/2024

Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de extinção no Cerrado brasileiro

Candidata: Camila Oliveira Rocha

Orientador: Ricardo Bomfim Machado

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Aprovada por

Dr. Ricardo Bomfim Machado – UnB

Dr. Reuber Albuquerque Brandao – UnB

Dr. Guarino Rinaldi Colli – UnB

Dr. Carlos Eduardo de Viveiros Grelle – UFRJ

Brasília
Maior/2024

Ficha Catalográfica

RR672a Rocha, Camila Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de extinção no Cerrado brasileiro / Camila Rocha; orientador Ricardo Machado. -- Brasília, 2024. 125 p.

Dissertação (Mestrado em Zoologia) -- Universidade de Brasília, 2024.

1. Conservação de Biodiversidade. 2. Análise de Lacunas. 3. Cerrado Brasileiro. 4. Espécies Ameaçadas de Extinção. 5. Áreas Protegidas. I. Machado, Ricardo, orient. II. Título.

Epígrafe

“Temos a responsabilidade moral de proteger as incríveis formas de vida com as quais partilhamos este planeta.”

Jane Goodall

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão especial ao professor Dr. Ricardo Bomfim Machado, meu orientador, por aceitar me guiar neste trabalho de pesquisa. Agradeço a confiança, apoio, paciência e dedicação demonstrados durante o processo de orientação para a elaboração e execução deste projeto. Além disso, agradeço a oportunidade de adquirir conhecimentos fundamentais em teorias e práticas de conservação de biodiversidade, durante a orientação e nas disciplinas de “Planejamento para a Conservação” e “Ecologia de Paisagem”, as quais serão valiosas em minha carreira profissional.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Zoologia e ao seu corpo docente de excelência pelo privilégio de trilhar este caminho de construção e aprimoramento de conhecimento em Zoologia. Especialmente à professora Dra. Angele dos Reis Martins, cuja contribuição foi fundamental na concepção deste projeto, durante a disciplina “Elaboração de Projeto de Pesquisa em Zoologia”, e à professora Dra. Verônica de Barros Slobodian Motta, cuja colaboração ativa foi essencial para o aperfeiçoamento deste trabalho durante os Ciclos Avaliativos Discente. Expresso também minha gratidão aos demais professores que tive a honra de assistir ministrando suas aulas durante as disciplinas cursadas: ao Dr. Guarino Rinaldi Colli, pela paciência demonstrada nos meus primeiros momentos de contato com a linguagem R, na disciplina de Biogeografia; ao Dr. Francisco Diogo Rocha Sousa, pelos valiosos ensinamentos em Taxonomia Zoológica; e aos professores Dr. José Pujol, Dr. Rodrigo Santucci, Dra. Cecilia Waichert Monteiro, Dra. Marina Regina Frizzas, Dr. Reuber Albuquerque Brandão e Dra. Ludmilla Moura de Souza Aguiar, pelas enriquecedoras aulas ministradas em “Evolução de Metazoa”.

À Universidade de Brasília, expresso minha sincera gratidão por proporcionar a infraestrutura e as ferramentas essenciais para o desenvolvimento da minha formação acadêmica.

Agradeço ainda ao Ministério do Meio Ambiente por me conceder o afastamento para participação em programa de pós-graduação *stricto sensu*, o qual me permitiu dedicação exclusiva e este projeto de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de extinção no Cerrado brasileiro

Candidata: Camila Oliveira Rocha

Orientador: Ricardo Bomfim Machado

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Estamos vivenciando a sexta extinção em massa no planeta, causada por destruição ambiental em larga escala, provocada pela ação humana. A consequente perda de biodiversidade é uma das principais preocupações mundiais, refletida nos acordos multilaterais internacionais sobre meio ambiente. O Brasil ocupa posição de destaque na pauta ambiental mundial por possuir a maior diversidade de espécies no mundo. Dentre seus biomas, o Cerrado brasileiro é uma região de grande importância para a conservação, sendo um dos *hotspots* globais de biodiversidade. Apesar de sua importância, o bioma enfrenta graves ameaças, principalmente devido à expansão agropecuária. O resultado é a perda e degradação dos *habitats* naturais e fragmentação da paisagem, comprometendo severamente a biodiversidade no bioma. Frente à perda de biodiversidade, uma das estratégias de conservação mais efetivas é a criação de áreas protegidas. Contudo, para que essas áreas funcionem conforme os seus objetivos de conservação, elas devem ser complementares e representativas em seus componentes de biodiversidade. Além disso, devem ser devidamente implementadas, ou seja, dotadas do mínimo de estrutura e recursos humanos e financeiros para o seu funcionamento. Uma pequena fração do Cerrado é legalmente protegida por unidades de conservação, sendo em sua maioria pequenas e desconectadas. Considerando a preocupação mundial com as espécies ameaçadas de extinção e a importância biológica do Cerrado brasileiro, neste estudo, avalei a representatividade de 314 áreas protegidas no bioma, incluindo as terras indígenas, para a proteção das 65 espécies de aves endêmicas ou ameaçadas no bioma. Para isso, gerei mapas de distribuição potencial das espécies de acordo com a

adequabilidade ambiental, intersectei com os mapas das áreas protegidas e defini áreas complementares, com metas e pesos escalonados segundo o nível de ameaça e endemismo, em três cenários de conservação. Além disso, diagnostiquei o status de implementação de 124 unidades de conservação federais e estaduais no bioma de importância para essas espécies. Os resultados indicaram que o sistema de áreas protegidas no Cerrado brasileiro é insuficiente para garantir uma proteção adequada das espécies, sendo a maioria (95,4%) classificada como lacuna parcial e apenas 4,6% como coberta. A proteção média das espécies foi de apenas de 14,5%. A média de representatividade das espécies nas áreas protegidas foi maior nas unidades de proteção integral do que nas demais áreas. Porém, essas unidades cobriram, em média, menor extensão das áreas de distribuição das espécies. As terras indígenas mostraram-se importantes para a representatividade do grupo-alvo, abrangendo uma porcentagem maior de área de distribuição potencial das espécies do que as unidades de proteção integral. A porcentagem de cobertura das áreas de distribuição das espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma dentro das unidades de conservação também foi pequena, apenas 10%. Considerando apenas as unidades de proteção integral, a cobertura foi ainda menor, apenas 4%. Além da baixa cobertura na área de distribuição potencial das espécies, a grande maioria das unidades de conservação no bioma (73%) não está devidamente implementada. Como proposta para melhorar a representatividade das espécies nas áreas protegidas no bioma, selecionei áreas cruciais para complementaridade nos três cenários, considerando a conectividade funcional da paisagem, de forma a garantir a proteção adequada às espécies. Essa seleção incorporou áreas mais compactas, com mais remanescentes de vegetação nativa e mais próximas das áreas protegidas existentes, o que potencialmente facilita o estabelecimento dessas áreas complementares. Sugeri a integração colaborativa entre os setores da sociedade para incorporar as áreas propostas pelo estudo, preferencialmente aquelas selecionadas no primeiro cenário, que considera apenas as unidades de conservação de proteção estrita. Além disso, propus um ranqueamento das unidades de conservação prioritárias para implementação, com base na importância na representatividade das espécies-alvo. A prioridade imediata deve ser a implementação adequada de 32 unidades que apresentaram maior riqueza de espécies e menor índice de implementação. Por fim, espero que tanto a proposta de áreas complementares quanto o ranqueamento de

unidades de conservação prioritárias para implementação alcancem os tomadores de decisão sobre estratégias de conservação para o bioma.

Palavras-chave: Análise de Lacunas, Áreas Protegidas, Cerrado Brasileiro, Conectividade, Espécies Ameaçadas, Implementação

Brasília

Maior/2024

Abstract

Gap analysis of endemic and threatened birds in Brazilian Cerrado

Candidata: Camila Oliveira Rocha

Orientador: Ricardo Bomfim Machado

Abstract da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

The sixth mass extinction on the planet is caused by environmental destruction due to human activity. The consequent loss of biodiversity is one of the major global concerns, reflected in international multilateral environmental agreements. Brazil holds a prominent position on the global environmental agenda due to having the greatest diversity of species in the world. Among its biomes, the Brazilian Cerrado is a region of great importance for conservation, being one of the biodiversity hotspots. Despite its significance, the biome faces severe threats, primarily due to agricultural expansion. The result is the loss and degradation of natural habitats and landscape fragmentation, severely compromising biodiversity in the biome. In the face of biodiversity loss, one of the most effective conservation strategies is the creation of protected areas. However, for these areas to function according to their conservation objectives, they must be complementary and representative in their biodiversity components. Additionally, they must be properly implemented, meaning they need a minimum level of infrastructure and human and financial resources to function. A small fraction of the Cerrado is legally protected by conservation units, which are often small and disconnected. Considering the global concern with endangered species and the biological importance of the Brazilian Cerrado, this study evaluated the representativeness of 314 protected areas in the biome, including indigenous lands, for the protection of 65 endemic or threatened bird species in the biome. For this, I generated potential distribution maps of the species according to environmental suitability, intersected them with protected area maps, and defined complementary areas with scaled goals and weights according to the level of threat and endemism, in three conservation scenarios. Additionally, I diagnosed the implementation status of

124 federal and state conservation units in the biome of importance for these species. The results indicated that the system of protected areas in the Brazilian Cerrado is insufficient to ensure adequate protection of the species, with the majority (95.4%) classified as partial gaps and only 4.6% as covered. The average protection of species was only 14.5%. The average representativeness of species in protected areas was higher in strict protection units than in other areas. However, these units covered a smaller average extent of the species' distribution areas. Indigenous lands proved important for the representativeness of the target group, covering a higher percentage of the species' potential distribution area than strict protection units. The percentage of coverage of the distribution areas of endemic and threatened bird species in the biome within conservation units was also small, only 10%. Considering only strict protection units, the coverage was even smaller, just 4%. Besides the low coverage in the potential distribution area of the species, the vast majority of conservation units in the biome (73%) are not properly implemented. As a proposal to improve the representativeness of species in protected areas in the biome, I selected crucial areas for complementarity in the three scenarios, considering the functional connectivity of the landscape to ensure adequate protection for the species. This selection incorporated more compact areas with more remnants of native vegetation and closer to existing protected areas, potentially facilitating the establishment of these complementary areas. I suggested collaborative integration between societal sectors to incorporate the areas proposed by the study, preferably those selected in the first scenario, which considers only strict protection conservation units. Additionally, I proposed a ranking of priority conservation units for implementation based on their importance in representing the target species. The immediate priority should be the proper implementation of 32 units that showed higher species richness and lower implementation index. Finally, I hope that both the proposal for complementary areas and the ranking of priority conservation units for implementation reach decision-makers regarding conservation strategies for the biome.

Key-words: Brazilian Cerrado, Connectivity, Gap Analysis, Endangered Species, Implementation, Protected Areas.

Brasília
Mai/2024

Introdução Geral da Dissertação

A perda de biodiversidade é uma preocupação mundial refletida nos principais acordos e planos de ações internacionais multilaterais voltados à conservação, como a Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD 2022, ODS 2024). A perda de biodiversidade, causada por atuação humana, é uma das principais preocupações mundiais sobre economia e meio ambiente, destacada no Relatório de Risco Global de 2024 (Fórum Econômico Mundial 2024). As principais ameaças antropogênicas diretas à biodiversidade incluem a alteração do uso da terra, a superexploração direta dos recursos naturais, a poluição, as invasões por espécies exóticas e as alterações climáticas (IPBES 2019).

O Brasil ocupa posição de destaque na pauta ambiental mundial, por se tratar do país com maior diversidade de espécies, abrigando aproximadamente 13% da biodiversidade global (Mittermeier et al. 1997). A última avaliação do estado de conservação das espécies da fauna e da flora brasileiras, publicada em 2022, incluiu 1.249 espécies ameaçadas de extinção, dentre elas, 257 espécies de aves (MMA 2022), 39 destas com ocorrência no Cerrado.

O Cerrado brasileiro é a maior savana neotropical, abrigando cerca de 30% da biodiversidade brasileira e considerado como um *hotspot* mundial de biodiversidade, devido aos altos números de endemismos e à sua área remanescente (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2004). A rápida perda de vegetação, principalmente pela expansão agropecuária aliada à baixa cobertura da rede de áreas protegidas, torna o Cerrado um dos biomas mais ameaçados do mundo (Strassburg et al. 2017). Considerando a diversidade de aves, estima-se que ocorram aproximadamente 837 espécies no bioma (Silva 1997), onde 4,65% desse total está ameaçado de extinção (MMA 2022).

Frente à essas ameaças, a designação de áreas públicas como áreas protegidas é o alicerce das políticas nacionais para a conservação de biodiversidade (Rodrigues et al. 2004a), sendo uma das estratégias de conservação mais eficientes (Possingham et al. 2006). No entanto, para proteger adequadamente um grupo biológico específico, um sistema de áreas protegidas deve conter áreas complementares em seus componentes de biodiversidade (Margules & Pressey 2000) e deve ser representativo no sentido de conter amostras desses componentes em

quantidades adequadas, garantindo sua persistência no tempo (Pressey & Nicholls 1989).

Neste contexto, a análise de lacunas é uma abordagem de planejamento para a conservação baseada na avaliação da representatividade de componentes de biodiversidade em redes de áreas protegidas e na identificação de lacunas na cobertura (Scott et al. 1993, Jennings 2000). Essa abordagem vem sendo utilizada desde meados dos anos 80 como uma forma de avaliar a eficácia de um sistema de áreas protegidas na representação da biodiversidade local e na otimização da seleção de novas áreas protegidas. Vários estudos de identificação de lacunas foram realizados com base na distribuição de diferentes grupos taxonômicos de interesse para a conservação, em diversos níveis da paisagem ao redor do mundo. Por exemplo, a nível global, a abordagem foi aplicada por Rodrigues et al. (2004b) considerando a distribuição de espécies de mamíferos, anfíbios, tartarugas e aves globalmente ameaçadas.

Em escalas nacionais e regionais, Ahmadi et al. (2020) se basearam na distribuição de duas espécies de grandes carnívoros no Irã. Enquanto Yang et al. (2020) se basearam na distribuição do panda gigante, *Ailuropoda melanoleuca* (David, 1869) e Qin et al. (2022) de plantas terrestres, ambos na China. Ainda, Cahyaningsih et al., (2021) consideraram a distribuição de plantas medicinais na Indonésia e Catullo et al. (2008) a distribuição de mamíferos no sudeste asiático. No Brasil, Oliveira et al. (2017), a distribuição de grupos de vertebrados, artrópodes e angiospermas e Silva & De Marco Jr. (2023) a distribuição de morcegos.

Em escala regional, especificamente no bioma Cerrado, a análise de lacunas foi aplicada por Machado et al. (2004) para avaliar a representatividade de espécies de aves, mamíferos e árvores pela rede de áreas protegidas no bioma. Além disso, Silva et al. (2014), aplicaram o método para espécies de lagartos endêmicos, Diniz-Filho et al. (2008) para vertebrados terrestres endêmicos e Nóbrega & De Marco Jr. (2011) para libélulas. Algumas análises incorporaram os potenciais efeitos das mudanças climáticas na proteção das espécies. Por exemplo, Marini et al. (2009) avaliaram esses efeitos para aves endêmicas do bioma e Faleiro et al. (2013) para mamíferos não voadores. Por vezes, esses estudos de análises de lacunas propõem áreas adicionais para complementar a rede de áreas protegidas avaliada, de forma a torná-la mais eficiente na representatividade do grupo de interesse

Além da necessidade de serem representativas, para que as áreas protegidas sejam efetivas, é fundamental que disponham de competências adequadas para garantir o cumprimento satisfatório dos objetivos para os quais foram criadas. Nesse sentido, é necessário alcançar as ações estratégicas de implementação da conservação, o que inclui os processos de governança e administração (Worboys et al. 2015). A relevância da necessidade de implementação das áreas protegidas é destacada pela Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), especialmente na meta três do Quadro Global de Biodiversidade *Kunming-Montreal*. A meta estabelece não apenas a porcentagem mínima de áreas sob proteção, mas também ressalta a importância de uma gestão efetiva nas áreas protegidas.

Considerando a crescente preocupação global com o risco de extinção de espécies e a notável importância biológica do Cerrado brasileiro, neste estudo investiguei a contribuição da rede de áreas protegidas nesse bioma para a representatividade das espécies de aves ameaçadas e endêmicas. Além disso, recomendei unidades de conservação prioritárias para implementação, considerando sua relevância na proteção desse grupo de espécies.

Com base nesses dois objetivos descritos que se relacionam, mas apresentam resultados diferentes, essa dissertação foi dividida em dois capítulos. No primeiro capítulo, apresento uma análise atualizada das lacunas de conservação para as espécies de aves ameaçadas e endêmicas no bioma, identificando áreas prioritárias complementares à rede de áreas protegidas existente para aumentar sua representatividade. No segundo capítulo, considerando a importância da implementação das unidades de conservação para o seu funcionamento e alcance dos objetivos, proponho uma lista de unidades de conservação prioritárias para implementação, levando em conta a representatividade desse grupo de espécies de interesse para a conservação. O primeiro capítulo foi submetido em forma de manuscrito à Revista *Biota Neotrópica* e, por este motivo, é apresentado em forma de artigo e redigido em língua inglesa. O segundo capítulo é apresentado em formato tradicional e redigido em língua portuguesa.

Primeiro Capítulo

Gap analysis of endemic and threatened birds in the Brazilian Cerrado

Análise de lacunas de conservação de aves endêmicas e ameaçadas de extinção no Cerrado brasileiro

C. O. Rocha^{1,2,*}, R. B. Machado³

¹ Graduate Program in Zoology – University of Brasilia, 70910-900, Brasília, Brazil

ORCID 0009-0001-1709-2277

² Department of Conservation and Sustainable Use of Biodiversity – Ministry of Environment and Climate Change –70068-900 – Brasília, Brazil

³ Conservation Planning Laboratory – Department of Zoology – University of Brasilia, 70910-900, Brasília, Brazil ORCID 0000-0002-6508-9005

* Corresponding author: rocha.aves@gmail.com (Rocha, C. O.)

Abstract: Despite being considered a biodiversity hotspot, the Brazilian Cerrado faces serious threats, mainly due to agricultural expansion. The result is the loss and degradation of natural habitats and landscape fragmentation, severely compromising biodiversity in the biome. Despite its biological importance, only a small fraction of the Cerrado is legally protected, with small and disconnected conservation units. In this study, we evaluated the representativeness of the network of federal and state protected areas, including Indigenous lands, in conserving the 65 endemic and threatened bird species in the biome. We generated potential species distribution maps based on environmental suitability, overlaid them with protected areas maps, and selected complementary areas, considering scaled targets and weights according to threat level and endemism, across three conservation scenarios. The first scenario considered only strict protection conservation units established in the biome. The second scenario considered, in addition to these, sustainable use units. The third scenario considered conservation units in both categories and indigenous lands. Our results indicated that the protected areas system in the Brazilian Cerrado is insufficient

to guarantee adequate species protection, with the majority, 95.4%, classified as partial gap and only 4.6% covered. The average species protection was only 14.5%. We selected crucial areas for complementarity in the three scenarios, considering landscape functional connectivity, to ensure adequate protection for the species. Selection of complementary areas focused on more compact regions with significant remnants of native vegetation, located near existing protected areas, potentially facilitating their implementation. We found that Indigenous lands, despite not having biodiversity conservation as their main objective, play an important role in representation of these species. The Matopiba region, currently experiencing the highest deforestation pressure in the biome, concentrated most proposed complementary areas. We propose collaborative integration among society sectors to implement areas proposed by the study, preferably those selected in the first scenario, considering only strict protection conservation units. Additionally, it is essential for private landowners to actively fulfill their obligations according to environmental legislation, alongside public efforts to ensure the effectiveness of public policies for native vegetation protection and area recovery.

Key-words: Birds, Brazilian Cerrado, Connectivity, Conservation, Endangered Species, Gap Analysis

Resumo: Apesar de ser considerado um *hotspot* de biodiversidade, o Cerrado brasileiro enfrenta graves ameaças, principalmente devido à expansão agropecuária. O resultado é a perda e degradação dos *habitats* naturais e na fragmentação da paisagem, comprometendo severamente a biodiversidade no bioma. Apesar de sua importância biológica, apenas uma pequena fração do Cerrado é legalmente protegida, sendo as unidades de conservação pequenas e desconectadas. Neste estudo, avaliamos a representatividade da rede de áreas protegidas federais e estaduais, incluindo as terras indígenas, na conservação das 65 espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma. Para isso, geramos mapas de distribuição potencial das espécies de acordo com a adequabilidade ambiental, cruzamos com os mapas das áreas protegidas e definimos as áreas complementares, com metas e pesos escalonados segundo o nível de ameaça e endemismo, em três cenários. No primeiro cenário consideramos apenas as unidades de conservação de proteção integral estabelecidas no bioma. No segundo cenário, além destas, consideramos

também as unidades de uso sustentável. No terceiro cenário, consideramos as unidades de conservação nas duas categorias e as terras indígenas. Nossos resultados indicaram que o sistema de áreas protegidas no Cerrado brasileiro é insuficiente para garantir uma proteção adequada das espécies, sendo a maioria, 95,4%, classificada como lacuna parcial e apenas 4,6% como coberta. A proteção média das espécies foi de apenas de 14,5%. Seleccionamos áreas cruciais para complementaridade nos três cenários, considerando a conectividade funcional da paisagem, de forma a garantir a proteção adequada às espécies. Essa seleção incorporou áreas mais compactas, com mais remanescentes de vegetação nativa e mais próximas das áreas protegidas existentes, o que potencialmente facilita a implementação dessas áreas complementares. Encontramos que as terras indígenas, apesar de não terem como objetivo principal a conservação de biodiversidade, desempenham uma importante função na representação dessas espécies. A região do Matopiba, que atualmente sofre a maior pressão de desmatamento no bioma, concentrou a maioria das áreas complementares. Propomos a integração colaborativa entre os setores da sociedade para implementar as áreas propostas pelo estudo, preferencialmente aquelas selecionadas no primeiro cenário, que considera apenas as unidades de conservação de proteção estrita. Além disso, é essencial que os proprietários de terras privadas cumpram ativamente suas obrigações de acordo com a legislação ambiental, juntamente com um esforço público para garantir a eficácia das políticas públicas para a proteção da vegetação nativa e a recuperação dessas áreas.

Palavras-chave: Análise de Lacunas, Avifauna, Cerrado Brasileiro, Conectividade, Conservação, Espécies Ameaçadas

Introduction

Brazil is one of the most megadiverse countries in the world, holding approximately 13% of global biological diversity (Mittermeier et al. 2017). Among its biomes, the Cerrado, the largest and richest Neotropical savanna, harbors about 30% of Brazilian biodiversity and is classified as a biodiversity hotspot, primarily due to the high number of endemic species and its remaining total area (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2004). Among the diversity of vertebrates in the Brazilian Cerrado, approximately 837 bird species occur in the biome (Silva 1997). Unfortunately, 4.65% of them are threatened with extinction (MMA 2022). Threats to biodiversity in the biome are mainly due to habitat loss and degradation from the expansion of pastures and monocultures and the invasion of exotic species, particularly African grasses used in cattle raising (Klink & Machado 2005).

Habitat loss alters the landscape, favoring fragmentation, which is the transformation of habitat continuums into smaller patches than the original area, isolated by a modified matrix (Wilcove et al. 1986). These alterations threaten biodiversity severely, potentially degrading ecosystems and reducing nutrient retention, trophic dynamics, persistence, richness, and species movement dynamics (Haddad et al. 2015). In this context, connectivity becomes a vital element of landscape structure, defined as the degree to which the landscape facilitates or impedes movement between resource patches (Taylor et al. 1993), with functional connectivity being an effective measure of connectivity from an ecological perspective (Calabrese & Fagan 2004). Connectivity in the Brazilian Cerrado underwent a significant reduction between 2000 and 2017, with removing connector fragments or corridors being the most crucial change (Grande et al. 2020).

Among the strategies for biodiversity conservation, the designation of public areas as protected areas destined for biodiversity protection appears to be one of the most efficient (Possingham et al. 2006), supported by the majority of national conservation policies (Rodrigues et al. 2004a), and recognized by the Convention on Biological Diversity, which sets a target of protecting at least 30% of terrestrial, aquatic, marine, and coastal areas under protected area networks by 2030 (CBD 2022). However, to adequately protect a particular biological group, a system of protected areas must contain complementary areas with diverse biodiversity attributes (Margules & Pressey 2000) and must be representative in the sense of containing samples of these

attributes in adequate quantities to ensure their persistence over time (Pressey & Nicholls 1989).

Gap analysis is a widely used approach to assess the effectiveness of a protected area system in representing local biodiversity and optimizing the selection of new protected areas. The approach has been applied to different taxonomic groups at various landscape levels worldwide (Oldfield et al. 2004, Rodrigues et al. 2004a, Catullo et al. 2008, Oliveira et al. 2017, Ahmadi et al. 2020, Yang et al. 2020, Cahyaningsih et al. 2021, Qin et al. 2022, Silva & De Marco Jr. 2023), including the Cerrado (Machado et al. 2004, Diniz-Filho et al. 2008, Marini et al. 2009, Nóbrega & De Marco Jr. 2011, Faleiro et al. 2012, Silva et al. 2014).

Despite the high biological importance and the high levels of threat to the Cerrado, it is estimated that only 8.3% of the biome is protected by legally established conservation units, and considering only areas of native vegetation, this fraction is only 6.5% (Françoso et al. 2015). Notably, the individual extent of conservation units in the biome is small and disconnected from each other (Garcia et al. 2011). This study evaluated the representativeness of protected areas in the Brazilian Cerrado to conserve the biome's endemic and threatened bird species. We presume this representativeness is low due to the low quantity of protected areas in the biome, their overall small sizes, and scattered locations. Additionally, these areas were created with different purposes over time, often unrelated to their importance for biodiversity conservation (Pressey et al. 1994, Margules & Pressey 2000, Oldfield et al. 2004). We also identified conservation gaps and areas essential for increasing the representation of these species in the biome, considering functional connectivity in the selecting regions.

Material and Methods

Study Area

We define the study area as the Cerrado biome, a natural mosaic of different vegetative formations (Eiten 1972, Ratter et al. 1997) located in the central region of Brazil. We considered the boundary defined by the Brazilian Institute of Geography and Statistics, which encompasses an area of 1,983.017 km² (IBGE, 2019).

Data Collection

We utilized the study by Silva & Bates (2002), along with a recent literature review for bird species described since then, to determine the endemic species of the biome. In addition to endemic species, we included those considered threatened with extinction, according to the Official List of Threatened Brazilian Fauna, annex 1 of Ministry of the Environment Ordinance No. 148, dated June 7, 2022 (MMA 2022). Thus, we considered a total of 65 bird species, with 41 being endemic, 39 threatened, and 15 both endemic and threatened.

We obtained species occurrence data from the bird database of the Conservation Planning Laboratory of the Department of Zoology at the University of Brasília. The database gathers approximately 13 million records of 1,818 Brazilian bird species, compiled from specialized literature, information from scientific collections provided by the Global Biodiversity Information Facility- GBIF (www.gbif.org), and online citizen science databases, eBird (www.ebird.org) and xeno-canto (www.xeno-canto.org). Additionally, we consulted databases from the International Union for Conservation of Nature- IUCN (www.iucnredlist.org), Avibase (<https://avibase.org>), SALVE (www.salve.icmbio.gov.br), and the Brazilian Ornithological Records Committee- CBRO (www.cbro.org.br) to complement occurrences in the biome. We initially selected 175,204 occurrence points for the species in South America and filtered them based on the Brazil boundary. Due to common sampling biases in species occurrence records across space, we applied the methodology proposed by Boria et al. (2014) to filter occurrence points. We created a 20 km buffer around each point, using the rangeBuilder package (Rabosky et al. 2016), to eliminate additional points of the same species within this limit and minimize sampling biases. Thus, our final database accounted for 11,643 occurrence points for 65 species targeted in the study.

We considered protected areas of strict protection and sustainable use categories, as defined by the National System of Conservation Units – SNUC (Brasil 2000), at the federal and state levels and indigenous lands for the study. The strict protection categories are equivalent to IUCN categories I to III and the sustainable use categories are equivalent to IUCN categories IV to VI. Of the 12 categories defined by the SNUC, we excluded the Private Natural Heritage Reserves from the analysis, as they are minimally representative in the biome protection area.

We obtained maps of federal and state protected areas from the National Registry of Conservation Units database of the Ministry of the Environment- CNUC, indigenous lands from the National Foundation for Indigenous Peoples - FUNAI, and

other geographical data from IBGE through the geographic data platform of the National Institute for Space Research- Terrabrasilis. Thus, we selected 330 protected areas, including 212 conservation units (119 strict protection and 93 sustainable use) and 118 indigenous lands (Figure 2).

As some protected areas partially or entirely overlap with others, we treated these overlaps by prioritizing the more restrictive categories in the following order: strict protection, sustainable use, and, finally, indigenous lands. After resolving the overlaps, 314 protected areas remained, with 16 eliminated. Of the eliminated areas, the majority (68.7%) were Areas of Relevant Ecological Interest in the Federal District, of small extent overlapping with larger-scale Environmental Protection Areas, both in the sustainable use category. Additionally, four indigenous lands overlapped with conservation units, and one State Park in the sustainable use category overlapped with a full protection unit.

Niche Modeling

We used the R program (R Core Team 2022) for all statistical and spatial analyses in the study. We downloaded bioclimatic variables from WorldClim (Fick & Hijmans 2017), with a spatial resolution of 30 arc-seconds (equivalent to 1x1 km), and followed the procedures described by Silva et al. (2018) and Delgado-Jaramillo et al. (2020) to select the bioclimatic variables. We used species occurrence points to intersect with the 19 bioclimatic variables, aiming to reduce collinearity effects among variables in the analysis. To achieve this, we created a Pearson correlation matrix among the variables for each subset of bioclimatic variables: temperature (Bio1 to Bio11) and precipitation (Bio12 to Bio19), choosing one variable that presented those with values ≥ 0.7 . Thus, we used eleven predictive variables in the study: Bio2, Bio4, Bio6, Bio8, and Bio10 related to temperature; Bio12, Bio13, Bio14, Bio18, and Bio19 related to precipitation; and elevation.

We constructed potential species distribution maps based on environmental suitability, using niche modeling through the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm, a machine learning technique capable of predicting the potential distribution of species with presence-only data and environmental variables (Phillips & Dudík 2008). We used the *ENMeval* package version 2.0.0 (Kass et al. 2021) and divided species occurrence points into 80% for model training and 20% for testing. As MaxEnt does not require true absences in its fitting process (Elith et al. 2010), we randomly selected 5000

pseudo-absence points (or background points) within the study area, using the *dismo* package (Hijmans et al. 2023) to represent locations where species could be absent and generate the confusion matrix necessary for model evaluation. The *ENMeval* version 2.0.0 fitted MaxEnt models through the *maxnet* R package (Phillips 2021), implementing all derived feature classes and default adjusted regularization values from the Java Maxent application. This innovation over the previous version allows MaxEnt models to be natively and easily fitted in R (Phillips et al. 2017).

We assessed model quality using the Boyce Index, suitable for evaluating models with presence-only data (Hirzel et al. 2006), available in the *ecospat* package (Broennimann et al. 2022). Out of the 65 generated models, five were rejected based on the index, and as an alternative, a 50 km buffer was created around each species occurrence point to generate new models.

Finally, we converted species maps to binary maps, reclassifying environmental suitability values to zero and one, using the tenth percentile threshold (Silva et al. 2018, Stiels et al. 2011). This threshold considers 90% of suitability values, assuming 10% may contain some error after conversion. Additionally, we applied a 300 km buffer to reduce potential overestimations of the potential distribution area (Gomes et al. 2018, Velazco et al. 2020).

Gap Analysis and Complementarity

We conducted gap analysis using the *terra* (Hijmans 2024), *sf* (Pebesma 2018), and *dplyr* (Wickham et al. 2023) packages. To do this, we created a stack with potential species distribution maps within the biome boundary, reprojected the protected area rasters to the geodesic projection of the species maps (WSG84), and intersected the maps, resulting in a matrix of species occurrences by protected areas. We classify the species according to their achievement related to the conservation target. A total gap is when a species is not represented in any protected area; a partial gap is when the representation goal of a species is not fully achieved, and a protected when a species has its representation goal fully met (Catullo et al. 2008).

We then conducted a complementarity analysis to identify areas necessary for increasing the representation of target species in the biome, using the *priorizr* package (Hanson et al. 2023) and the Gurobi solver (Optimization G. LLC 2023). The *priorizr* package is designed to solve conservation problems by using mixed integer linear

programming and finding optimal solutions similar to those programs that use heuristic or simulated annealing (Hanson et al. 2023), such as Marxan (Ball et al. 2009).

We considered the theoretical framework of systematic conservation planning (Margules & Pressey 2000) to define the criteria for the reserve selection algorithm. In defining the conservation problem, we considered three scenarios: 1) only using strict protection protected areas; 2) using strict protection plus sustainable use protected areas; and 3) using all protected areas, i.e., protected areas of both management categories and indigenous lands.

We established conservation goals for species with weighted scores according to the degree of threat and endemism, considering the premise that specific goals for different biodiversity elements are more appropriate than standardized goals, as they recognize that some characteristics require more extensive protection than others (Pressey et al. 2003). Thus, we scaled the goals considering the area of species' potential distribution calculated in the niche modeling, with larger goals for smaller areas (Catullo et al. 2008, Rodrigues et al. 2004b). We initially set a goal of conserving 30% of the potential distribution area for areas larger than 100,000 km². For areas between 10,000 km² and 100,000 km², the goal was 40%, and for areas between 1,000 km² and 10,000 km², 50%. We then assigned weights, guiding the algorithm regarding the order of goal fulfillment based on endemism and threat levels of species, considering IUCN categories: Vulnerable (VU), Endangered (EN), and Critically Endangered (CR). Thus, for endemic species, we assigned one point; for Vulnerable species, two points; for Endangered species, three points; and for Critically Endangered species, four points, resulting in weight values ranging from one to four.

We started from the 30% value for the conservation goal considering Target 3 of the Kunming-Montreal Agreement of the Convention on Biological Diversity, which aims to ensure that by 2030, at least 30% of terrestrial, freshwater, coastal, and marine areas, especially areas of particular importance for biodiversity and ecosystem functions and services, are effectively conserved and managed through ecologically representative, well-connected, and equitably governed protected area systems (CBD 2022).

In this study, we considered landscape connectivity as a conservation cost map. The reserve selection algorithm uses the conservation cost map to decide between two areas with the same biological importance (the occurrence of one or more features in our case) but with different connectivity. Thus, the area with higher connectivity will

be selected over that with low connectivity. For this purpose, we used land use and land cover data from the 8th collection of the Annual Land Use and Land Cover Mapping Project in Brazil (Mapbiomas, 2022). To generate the cost surface, we reclassified the land use map by assigning scaled values from one to 80, with higher values applied to classes less suitable as habitat for the target species. All native classes were assigned the minimum value, while agricultural areas, non-vegetated areas, and water bodies ranged from five to 80. We divided the biome into a spatial grid of 0.5x0.5 degrees (approximately 55x55 km) and conducted a landscape connectivity analysis using the grainscape package (Chubaty et al. 2020). The package uses the Graph Theory approach (see Urban & Keith 2001), where fragments (called 'nodes') can be connected to others by 'links.' The grainscape package calculated the weight of the links by considering the matrix structure (i.e., the position of the elements or ecosystems) and cost (i.e., the numerical values defined by us). Thus, we average the values of all links in a cell of our spatial grid to represent the connectivity.

We standardized all maps regarding object class, dimension, resolution, extent, and geodesic projection. We transformed the rasters of protected areas into binary, generated a stack with conservation objects within the biome's boundary, disregarding deforested areas, and finally formulated the conservation problem considering the goals and weights defined for each species, adding protected areas as constraints, a penalty of 5000 for edge effects, and binary decisions.

Results

Species Distribution

The roster of the 65 target species under study, their threat or endemism categories, Boyce index values from the models, potential distribution areas (total, within the Cerrado, and protected areas within the biome), alongside defined goals and weights, are observable in **Table 1**. Boyce index values from the 60 models yielded positive results between 0.1 and 0.9.

We generated 65 maps depicting potential distribution for the species, representing environmental suitability on a continuous numerical scale from zero to one. Additionally, 65 binary potential distribution maps were produced, with categorical values of zero or one, where zero indicates absence, and one indicates potential presence of the species. In total, we created 130 maps, consisting of two potential

distribution maps for each species, considering the borders of Brazil. **Figure 1** illustrates the maps generated for *Alectrurus tricolor* (Vieillot 1816) as an exemplar.

Gap Analysis and Complementarity

The current network of protected areas in the Brazilian Cerrado encompasses 330 areas at federal and state levels, comprising 212 conservation units and 118 indigenous lands. Regarding the categories of conservation units, 119 are under strict protection, while 93 are for sustainable use. Concerning management jurisdiction, 160 are under state administration (with 97 under strict protection and 63 for sustainable use) and 52 under federal authority (22 under strict protection and 30 for sustainable use). These areas cover approximately 292,919.58 km² of the biome, representing about 14.77% of its total area. However, considering only the conservation units, this percentage decreases to 9.69%, and for strict protection areas alone, it reduces to only 3.45%. After subtracting overlapping areas, as explained in the previous section, the coverage value of the biome amounted to 275,152.68 km², approximately 13.88%. Of this total, 182,484.36 km² corresponds to conservation units (9.20%), with 68,471.82 km² under strict protection (3.45%) and 114,012.54 km² for sustainable use (5.75%), while 92,668.32 km² are indigenous lands (4.67%). All values, before and after the subtraction of overlaps, are discernible in **Table 2** below.

Table 2: Sum of the size of all protected areas and the percentage relative to the total area of the biome by category.

Protected areas	Area ¹ (km ²)	Area ² (km ²)	Biome ³ (%)	Biome ⁴ (%)
Strict protection	68,471.82	68,471.82	3.45	3.45
Suitable use	123,591.96	123,591.96	6.23	5.75
Indigenous lands	100,855.80	100,855.80	5.09	4.67
Total	292,919.58	292,919.58	14.77	13.88

Notes: 1. Sum before overlap subtraction; 2. Sum after overlap subtraction; 3. Percentage before overlap subtraction; 4. Percentage after overlap subtraction.

The listing of selected conservation units for analysis, including categories, total area, administrative jurisdiction, and encompassed states, can be found in Table S1. Likewise, the listing of selected indigenous lands, ethnic group names, total area, and encompassed states can be found in Table S2.

Weights assigned to land use classes in the biome for the reclassification of the map to produce the conservation cost map can be observed in Table S3. The conservation cost map representing connectivity exhibited continuously increasing values ranging from 0 to 1,180.7, with two regions highlighted for higher costs, one in the extreme west of the biome and another to the east (see Figure 3).

Based on the established goals, we identified no species in this study as lacking coverage. However, we identified 62 species as partially lacking coverage, representing 95.38% of the studied species, with only three species covered by the considered protected areas, representing merely 4.61% of the species: *Hypocnemis striata* (Spix, 1825), *Pyrrhura amazonum* (Hellmayr, 1906) and *Sporophila nigrorufa* (d'Orbigny & Lafresnaye, 1837), all falling under the vulnerable threat category, with the latter also being endemic to the biome. The average protection for species was 14.5% regarding the percentage of their potential distribution areas within the biome boundary covered by protected areas. The lowest value was 5.59% for *Eleothreptus candicans* (Pelzeln, 1867), a Vulnerable and endemic species, and the highest was 47.91% for *Hypocnemis striata* (Spix, 1825). A total of 48 species had protection below the average (Table 1).

The average protection for species in terms of the percentage of their potential distribution areas covered by protected areas in the Cerrado was 5.4%, with the lowest value being 0.11% for *Sporophila nigrorufa* (d'Orbigny & Lafresnaye, 1837), and the highest being 17.27%, for *Cinclodes espinhacensis* (Sibley, Ahlquist & Monroe, 1988) the latter falling under the endangered category and being endemic to the biome.

The conservation problems addressed involved selecting minimal areas to add to the biome's protected areas system to protect the species according to the goals, weights, and edge penalties established. In all scenarios, conservation goals were met, adhering to the priority order per the applied weights and considering the most irreplaceable areas. In scenario one, we suggest an increment of 218,630.34 km² of areas to the total area of strict protection conservation units in the biome to protect the target species group more effectively. In this scenario, the protection percentage would increase from 3.45% (considering only strict protection category) to 14.47%. In scenario two, we propose adding 111,734.82 km² of areas to the biome's strict protection and sustainable use conservation units. In this scenario, the protection percentage would increase from 9.20% (considering strict protection and suitable use categories) to 14.47%. In scenario three, the proposed expansion is an additional

36,166.5 km² to the protected areas of strict protection, sustainable use, and indigenous lands in the biome. In this scenario, the protection percentage would increase 13.88% (considering protected areas and indigenous lands) to 15.69%. **Figure 2** illustrates the resulting map of the analyses, with the considered protected areas and the proposed complementary areas in each scenario. The goals maintained per species in each scenario are detailed in **Table S4**. The average species protection was 33.64 in scenario one, 34.44 in scenario two, and 36.29 in scenario three. **Figure 4** illustrates the species average protection in each scenario. The multiple comparisons test using Tukey-Kramer-Nemenyi for all pairs, with Tukey-Dist approximation, revealed a significant difference in averages between scenario one and three (see **Table 3** below). This demonstrates that the inclusion of indigenous lands improved species protection.

Table 3: Tukey-Kramer-Nemenyi test values between the means of species protection across scenarios

	Scenario 1	Scenario 2
Scenario 2	0.5396	-
Scenario 3	0.0023	0.0565

Discussion

Our results indicate that the protected areas system in the Brazilian Cerrado is insufficient to ensure adequate protection of endemic and threatened bird species in the biome. Although no species were classified as completely lacking coverage, the majority (95.4%) were classified as partially lacking coverage. In comparison, only 4.6% were covered, highlighting the low representativeness of the network in protecting these species. Additionally, the average protection of species, in terms of the percentage of their potential distribution areas within the biome boundary covered by protected areas, was only 14.5%.

Rodrigues et al. (2004b) conducted a global gap analysis to assess the effectiveness of protected areas in representing terrestrial vertebrate species (including mammals, birds, turtles, and amphibians). They found the global protected areas system to be insufficient. Their analysis considered a species covered if any protected area overlapped with any part of its mapped distribution. Otherwise, it was

considered a gap. 12% of all analyzed species were classified as gaps (equivalent to total gaps in this study), and 88% as covered (not differentiating the proportion of species' distribution areas protected, thus including the definition of partial gaps in this study).

We included indigenous lands in the analysis, recognizing their importance in Cerrado biodiversity conservation despite not being areas with the primary conservation objective (Resende et al. 2021). In this study, the 114 indigenous lands considered protected, in different proportions (from 0.1% to 29%), the potential distribution areas within the biome of 58 out of 65 target species (almost 90% of the species), demonstrating an important role in representing endemic and threatened birds in the biome. It is worth noting that indigenous lands are part of the most preserved territories in Brazil, with deforestation representing only 1.4% of the total deforested area in Brazil in 2022 (MapBiomas 2022).

The designation of public areas as protected areas is the basis of most biodiversity conservation policies worldwide (Rodrigues et al. 2004b). It is recognized as the most efficient conservation strategies (Possingham et al. 2006). However, it is common for protected area systems to not adequately represent the biodiversity of a region (Pressey et al. 1993). One explanation for this problem is that when establishing networks of protected areas, choices are often influenced by criteria unrelated to conservation importance, with areas designated based on low agricultural potential, high altitude, and high aesthetic or socioeconomic value (Vieira et al. 2019, Machado et al. 2004, Oldfield et al. 2004, Margules & Pressey 2000, Pressey et al. 1994). This could partly explain the low representativeness of the protected areas network in the Cerrado in protecting the target group.

Additionally, the low representativeness detected may reflect the low protection rates of the Cerrado by protected areas. We found in this study that only 13.9% of the biome is covered by protected areas, with 9.2% by conservation units and 4.7% by indigenous lands. Similar values have been previously reported in the literature. Resende et al. (2021) reported that 7.1% of the biome area is protected by conservation units and 4.8% by indigenous lands. Françoso et al. (2015) found 8.3% of the biome protected by conservation units, while Polizel et al. (2021) mentioned 7.5% of the biome protected by conservation units.

The Cerrado is the second-largest biome in Brazil (occupying approximately 21% of the country's land area), harboring about 30% of Brazilian biodiversity,

considered the largest and richest neotropical savanna and a biodiversity hotspot (Mittermeier et al. 2004, Myers et al., 2000). The low protection rate of the biome does not match its biological importance. The biome plays a crucial role in maintaining biodiversity, including ecosystem services (Colli et al. 2020, Resende et al. 2019, Strassburg et al. 2017), with a highlight on freshwater supply in Brazil. Known as the "water fountain", the rivers originating in the biome contribute to eight of the twelve main Brazilian watersheds (Overbeck et al., 2015). Among other ecosystem services provided by the Cerrado, according to Sawyer et al. (2018), are provisioning (medicines, timber, food, genetic resources, subsistence supplementary income, and hydroelectricity), regulation (hydrological cycle, carbon storage and sequestration, and avoided carbon emissions), support (species protection and pollination), and cultural services (tourism, recreation, sacred lands, and cultural values). We emphasize that protected areas in the Brazilian Cerrado, including indigenous lands, play an essential role in maintaining these ecosystem services and ensuring conservation in the biome, requiring political strengthening of these areas (Resende et al., 2021).

Our results from the reclassification of land use and land cover indicated a change of 50.87% of the biome's native cover, more pronounced in the southern portion, leaving approximately 49.13% of the remaining native vegetation. This finding highlights the seriousness of Cerrado's situation, which lacks adequate protection and faces substantial threats. The main threat to the biome is the loss and degradation of its natural land cover due to conversion into pastures and monocultures, which have already transformed at least 50% of its original cover (Sano et al. 2010, Klink & Machado 2005). This transformation results in environmental impacts such as fragmentation, biodiversity loss, invasion by exotic species, soil erosion and degradation, water pollution, changes in fire regimes, carbon cycle imbalances, and likely regional climate modifications (Klink & Machado 2005).

The intense habitat loss is altering the landscape in the biome, favoring fragmentation. In this context, connectivity becomes a vital element of landscape structure, defined as the degree to which the landscape facilitates or impedes movement between resource fragments (Taylor et al. 1993). The highly fragmented distribution of remaining habitats affects the viability of species maintenance and reproduction and the potential for conservation (Klink & Machado 2005). In a recent study, Grande et al. (2020) assessed the connectivity in the Brazilian Cerrado, detecting a significant reduction between 2000 and 2017, with the removal of

connector fragments or corridors being the most crucial change, occurring in 78.2% of landscapes. The authors cautioned that conservation policies should not rely solely on the proportion of native vegetation cover, as this represents a simplistic view of landscape changes and does not offer adequate protection for biomes that are at imminent risk, such as the Cerrado. Additionally, Garcia et al. (2011) found that conservation units in the Cerrado, besides being small, are disconnected from each other and fragments of remaining natural areas. These data reinforce the importance of considering connectivity in prioritization exercises of conservation areas in the biome, as done in this study.

In addition to losing approximately half of its original cover and the remaining habitats being intensely fragmented, deforestation pressure on the biome continues to grow. According to the most recent Annual Deforestation Report from MapBiomas (MapBiomas 2022), the Cerrado recorded the highest proportional increase in deforested area in the country in 2022, representing nearly one-third of the natural vegetation suppressed during the period (32.1%). It is worth noting that the northern region known as Matopiba (the north portion of Cerrado formed by the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia) was responsible for most of the deforestation in the Cerrado, encompassing about 82.1% of the deforested area (MapBiomas 2022). In all conservation scenarios, the Matopiba region concentrates most priority areas proposed in our study for expanding the protected area system. Incorporating the proposed areas in this region, besides helping achieve the objective of making the protected areas network in the biome more representative of target species, could also contribute to mitigating the enormous deforestation pressure in the region. Furthermore, it is recognized in the literature that the northern portion of the Cerrado, despite being widely used for agricultural purposes and representing the new frontier of agricultural expansion, still has higher native vegetation cover than the southern portion (Françoso et al. 2020, Strassburg et al. 2017, Sano et al. 2010). Given the urgency to counterbalance this deforestation pressure, especially in Matopiba, where deforestation is most intense, we recommend promptly establishing the proposed complementary areas in this biome region.

The rapid loss of native vegetation, coupled with the low coverage of the protected areas network, makes the Cerrado one of the most threatened biomes in the world (Strassburg et al. 2017). The current scenario requires immediate measures to implement Cerrado conservation strategies effectively. These measures should involve

collaborative integration among all sectors of society, including government, non-governmental organizations, researchers, and the private sector. Expanding the network of protected areas in the Brazilian Cerrado is crucial to ensure adequate biodiversity representation in the biome, especially for endangered and endemic species, considering their conservation values. We emphasize that one of the responsibilities of the National System of Conservation Units- SNUC (Brazil 2000) is to protect species officially recognized as threatened with extinction. One way in which civil society can contribute to biome conservation is through the creation of private natural heritage reserves- RPPNs, a category of conservation units in private areas provided for in the SNUC. The main objective of these reserves is to conserve biodiversity in strategic locations that play a fundamental role in establishing ecological corridors and landscape connectivity, representing a vital conservation strategy that complements other governmental and private initiatives. Our study proposes strategic areas that consider threatened and endemic birds, focusing on biome connectivity.

Representativeness is recognized as a fundamental principle for systematic conservation planning, measuring how well a network of protected areas represents the biodiversity components of a region (Margules and Pressey 2000). The importance of well-established protected areas incorporating the concept of representativeness is recognized by the leading international treaty on biodiversity conservation, the Convention on Biological Diversity (CBD 2022), of which Brazil is a signatory. However, to achieve the established international goals, appropriate management and strategic expansion of protected areas must be ensured (Le Saout et al. 2013).

Here, we propose, as a strategic measure, adding at least 36,166.5 km² to achieve the established conservation goals (scenario three), considering the potential distribution area of the study species already protected by the protected areas system in the Cerrado, including indigenous lands. Considering only conservation units, we suggest adding 111,734.82 km² of areas (scenario two) and considering only integral protection conservation units, 218,630.34 km² (scenario one). These additional areas should be considered priority or key biodiversity areas, as they include the occurrence of species of conservation interest and the irreplaceability of these sites. Irreplaceability, in selecting complementary areas in systematic conservation planning, represents those without which it is impossible to achieve the established goals for biodiversity components (Margules & Pressey 2000).

The main difference between strict protection areas and sustainable use conservation units is that the former imposes stricter restrictions on extractive activities. At the same time, the latter aims to reconcile nature conservation with the sustainable extraction of natural resources (Brazil 2020). França et al. (2015) evaluated how different categories of protected areas in the Cerrado contribute to biodiversity conservation and concluded that sustainable use areas are inadequate to ensure biodiversity protection. Therefore, the authors argued that urgent measures should be taken to create strict protection conservation units in the Cerrado to ensure the representativeness and persistence of its biodiversity. Considering that full protection conservation units better protect biodiversity, in this study, we propose that the ideal scenario would be to increment the current network of protected areas with the priority reserves selected in scenario one. Furthermore, considering that indigenous lands, despite their importance in representing target species, do not have the primary objective of biodiversity conservation, we suggest that Scenario two should be prioritized over Scenario three. However, we acknowledge that available resources for conservation are often limited, which may constrain ideal options.

Considering the limitation of conservation resources, we used landscape connectivity as a criterion in selecting the proposed complementary areas in this study. Thus, the spatial solution incorporated more compact areas, with more native vegetation remnants and closer to existing protected areas. This potentially facilitates the implementation of these areas, either by creating or expanding protected areas. In our cost map, connectivity represented the measure of conservation effort, considering that fragmented areas require more effort than connected areas. In systematic conservation planning, cost is the direct or indirect measure associated with the ease or difficulty of including an area in the network of protected areas considered. It can be understood as a conservation effort (Margules & Pressey 2000). Our proposal presents an alternative to using cost maps in which only the presence of native and deforested areas reflects the cost of conservation, considering the probability of deforestation. In these prioritization exercises, native areas are sometimes included in regions that need the recovery of degraded areas to increase connectivity, which rarely happens due to resource limitations. The location of the additional areas proposed by this study implies that the algorithm's solutions were sought in areas with greater coverage and more compact, that is, with greater connectivity. Thus, creating or expanding the network is less costly, and the results can be implemented immediately.

It should be considered that protected areas are not immutable and are constantly subject to political influences and pressures from sectors of society, such as agribusiness lobbying, which may result in expropriations and redefinitions of their boundaries. For example, Bernard et al. (2014) assessed changes in the boundaries and categories of conservation units in Brazil and identified 93 Protected Area Downgrading, Downsizing, and Degazettement (PADDD) events from 1981 to 2012. Therefore, it is not enough to make an effort to expand protected areas in the biome according to the areas proposed by this study; it is necessary to defend the permanence or expansion of the boundaries of existing and future protected areas.

However, establishing public or private lands in protected areas should not be the only strategy to be adopted. It is essential for private landowners to actively fulfill their obligations according to Brazilian environmental legislation, together with a public effort to ensure the effectiveness of public policies for the protection of native vegetation and the recovery of areas, especially in the priority areas selected in this study. Private areas represent about 62% of the native regions of Cerrado. About 26% of the biome on private lands needs to be restored to comply with Brazilian legislation on the protection of native vegetation (Vieira et al. 2018). Among the relevant environmental legislation, we highlight the Brazilian Forest Code (Brazil 2012), which establishes the minimum percentages of Permanent Preservation Areas (PPAs) and Legal Reserves (LRs) that must be maintained on rural properties. One of its main tools is the Rural Environmental Registry, which establishes national environmental regularization policy guidelines. Data from MapBiomass (2022) revealed that private areas were responsible for the highest deforestation rates in Brazil in 2022, with the Cerrado ranking second among biomes with the highest concentration of properties with deforestation. These deforestations sometimes occur in LRAs and PPAs, areas that should not be deforested except in very specific and authorized circumstances (Brazil 2012).

Furthermore, there is a worrying impunity regarding illegal deforestation, with the actions of environmental control agencies to curb this problem affecting only a tiny percentage of deforestation alerts and the deforested area (MapBiomass 2022). Previous studies have demonstrated the importance of private sector involvement in Cerrado conservation (De Marco Jr et al. 2023, Klink & Machado 2005), essential to maintaining and restoring conservation areas within private lands. De Marco Jr. et al. (2023) found that this strategy is particularly effective in highly threatened regions and

poorly protected by public lands, as with the Brazilian Cerrado, contributing significantly to maintaining threatened terrestrial vertebrate species in this biome.

Authors' Contributions

Authors	Conceptualization	Formal Analysis	Methodology	Supervision	Writing original draft	Writing review & editing
C.O.R.	x	x	x		x	x
R.B.M	x	x	x	x		x

Note: We used CRediT (Contribution Roles Taxonomy) for specifying the roles and contributions of each author to the manuscript as recommended.

Conflict of Interest

The author(s) declare(s) that they have no conflict of interest related to the publication of this manuscript.

References

- Ahmadi, M., Farhadinia, M. S., Cushman, S. A., Hemami, M-R., Balouchi, B. N., Jowkar, H. & Macdonald, D. W. (2020). Species and space: a combined gap analysis to guide management planning of conservation areas. *Landscape Ecology* 35, 1505-1517. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01033-5>
- Avibase (2022). Avibase – The World Bird Database. <https://avibase.bsc-eoc.org/> Accessed March 31, 2022
- Ball, I. R., Possingham, H. P. & Watts, M. E. (2009). Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Moilanen, A., Wilson, K. A. & Possingham, H. P (Eds.). Oxford University Press, Brisbane: University of Queensland., pp. 185–210. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199547760.003.0014>
- Bernard, E., Penna, L. A. O. & Araújo, E. (2014). Downgrading, Downsizing, Degazettement, and Reclassification of Protected Areas in Brazil. *Conservation Biology* 28(4), 939–950. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1111/cobi.12298>
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M. & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling* 275, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- Brasil (2012). Código Florestal Brasileiro. Lei 12651. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Accessed March 22, 2024.

- Brasil (2000). Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Lei 9985. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm Accessed March 22, 2024.
- Broennimann O., Di Cola V. & Guisan, A. (2022). ecospat: Spatial ecology miscellaneous methods. R package version 3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=ecospat>
- Cahyaningsih, R., Magos Brehm, J. M. & Maxted, N. (2021). Gap analysis of Indonesian priority medicinal plant species as part of their conservation planning. *Global Ecology and Conservation* 26, e01459. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01459>
- Calabrese, J. M. & Fagan, W. F. (2004). Lost in Time, Lonely, and Single: Reproductive Asynchrony and the Allee Effect. *The American Naturalist* 164(1), 25–37. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/421443>
- Catullo, G., Masi, M., Falcucci, A., Maiorano, L., Rondinini, C. & Boitani, L. (2008). A gap analysis of Southeast Asian mammals based on habitat suitability models. *Biological Conservation* 141(11), 2730–2744. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.019>
- CBD (2022). Convention on Biological Diversity. COP15: Final text of Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222> Accessed March 25, 2023.
- CBRO (2022). CBRO – Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. <https://www.cbro.org.br/> Accessed March 31, 2022
- Chubaty, A. M., Galpern, P. & Doctolero, S. C. (2020). The R toolbox grainscape for modelling and visualizing landscape connectivity using spatially-explicit networks. *Methods in Ecology and Evolution* 11(4), 591-595. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13350>
- CNUC (2022). Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/areas-protegidas/plataforma-cnuc-1/plataforma-cnuc/> Accessed March 31, 2022
- Colli, G. R., Vieira, C. R. & Dianese, J. C. (2020). Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation* 29(5), 1465–1475. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>
- Rabosky, A. R. D., Cox, C. L., Rabosky, D. L., Title P. O., Holmes, I. A., Feldman, A. & McGuire, J. A. (2016). Coral snakes predict the evolution of mimicry across New World snakes. *Nature Communications* 7, e11484. <https://doi.org/10.1038/ncomms11484>
- De Marco Jr., P., Souza, R. A., Andrade, A. F. A., Villén-Pérez, S., Nóbrega, C. C., Campello, L. M, & Caldas, M. (2023). The value of private properties for the conservation of biodiversity in the Brazilian Cerrado. *Science* 380, 298–301. <https://doi.org/10.1126/science.abq7768>
- Delgado-Jaramillo, M., Aguiar, L. M. S., Machado, R. B. & Bernard, E. (2020). Assessing the distribution of a species-rich group in a continental-sized megadiverse country: Bats in Brazil. *Diversity and Distributions* 26(5), 632–643. <https://doi.org/10.1111/ddi.13043>
- Diniz-Filho, J. A. F., Bini, L. M., Pinto, M. P, Terribile, L. C., Oliveira, G., Vieira, C. M., Blamires, D., Barreto, B. S., Carvalho, P., Rangel, T. F... & Bastos, R. P. (2008). Conservation planning: A macroecological approach using the endemic terrestrial

vertebrates of the Brazilian Cerrado. *Oryx* 42, 567–577.
<https://doi.org/10.1017/S0030605308001129>

eBird (2022). eBird – Descubra um novo mundo de observação de aves. <https://ebird.org/>
Accessed March 31, 2022

Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38, 201–341.
<https://doi.org/10.1007/BF02859158>

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. & Yates, C. J. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

Faleiro, F. V., Machado, R. B. & Loyola, R. D. (2013). Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change. *Biological Conservation* (158), 248–257.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.020>

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12):4302–4315.
<https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1002/joc.5086>

Françoso, R. D., Brandão, R., Nogueira, C. C., Salmons, Y. B., Machado, R. B. & Colli, G. R. (2015). Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação* 13(1), 35–40.
<https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>

Françoso, R. D., Dexter, K. G., Machado, R. B., Pennington, R. T., Pinto, J. R., Brandão, R. A., & Ratter, J. A. (2020). Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. *Biodiversity and Conservation*, 29(5), 1477–1500.

FUNAI (2022). Fundação Nacional dos Povos Indígenas. <https://www.gov.br/funai/>
Accessed March 31, 2022

Garcia, F. N., Ferreira, L. G. & Leite, J. F. (2011). Áreas protegidas no bioma Cerrado: fragmentos vegetacionais sob forte pressão. *Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing*, Curitiba, Brazil, INPE (pp 4086–4093).

GBIF (2022). GBIF – Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/>
Accessed March 31, 2022

Gomes, V. H. F., IJff, S. D., Raes, N., Amaral, I. L., Salomão, R. P., Coelho, L. S., Matos, F. D. A., Castilho, C. V., Lima Filho, D. A., López, D. C.... & ter Steege, H. (2018). Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports* 8, e1003. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>

Grande, T. O., Aguiar, L. M. S. & Machado, R. B. (2020). Heating a biodiversity hotspot: connectivity is more important than remaining habitat. *Landscape Ecology* 35, 639–657. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-00968-z>

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D.... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *ScienceAdvances* 1(2), e1500052. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500052>

- Hanson, J. O, Schuster, R., Morrell, N., Strimas-Mackey, M., Edwards, B. P. M, Watts, M. E, Arcese, P., Bennett J & Possingham, H. P (2023). prioritizr: Systematic conservation prioritization in R. R package version 8.0.3. <https://CRAN.R-project.org/package=prioritizr>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J. & Elith, J. (2023). dismo: Species distribution modeling. R package version 1.3-14. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hijmans, R. J. (2024). terra: Spatial data analysis. R package version 1.7-71. <https://CRAN.R-project.org/package=terra>
- Hirzel, A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C. & Guisan, A. (2006). Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling* 199(2), 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>
- IBGE (2019). IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-atálogo?view=detalhes&id=2101676> Accessed June 8, 2024.
- IUCN (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/> Accessed March 31, 2022
- Kass, J. M., Muscarella, R., Galante, P. J., Bohl, C. L., Pinilla-Buitrago, G. E., Boria, R. A., Soley-Guardia, M. & Anderson, R. P. (2021). ENMeval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution*. 12(9), 1602-1608. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13628>
- Klink, C. A. & Machado, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19(3), 707–713. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T. M., Bertzky, B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Badman, T. & Rodrigues, A. S. L. (2013). Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science* 342, 803–805. <https://doi.org/10.1126/science.1239268>
- Machado, R. B., Ramos Neto, M. B. Harris, R. Lourival & L. M. S. Aguiar, (2004). Gap Analysis of the Biodiversity Protection in the Brazilian Cerrado. <https://docplayer.com.br/46935762> Accessed August 15, 2022.
- Mapbiomas (2022). Projeto MapBiomas-Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. <https://www.mapbiomas.org> Accessed August, 10, 2023.
- Margules, C. R. & Pressey, R. L. (2000). Systematic Conservation Planning. *Nature* 405, 243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E. & Jiguet, F. (2009). Major current and future gaps of Brazilian reserves to protect neotropical savanna birds. *Biological Conservation* 142(12), 3039–3050. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.002>
- Mittermeier, R. A., Gil, P. R. & Mittermeier, C. G. (1997). Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations. CEMEX, Mexico.
- Mittermeier, R.A., Gil, P. R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. & Fonseca, G. A. B. (2004). Hotspots revisited. Earth's biologically richest

and most endangered terrestrial ecoregions. University of Chicago Press, Chicago, USA.

- MMA (2022). Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA 148, de 7 de junho de 2022. Diário Oficial da União 108(1), 74 <https://in.gov.br/web/dou> Accessed March 25, 2024.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nóbrega, C. C. & De Marco Jr., P. (2011). Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions* 17(3), 491–505. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>
- Oldfield, T. E. E., Smith, R. J., Harrop, S. R. & Leader-Williams, N. (2004). A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy. *Biological Conservation* 120(3), 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.003>
- Oliveira, U., Soares-Filho, B. S., Paglia, A. P., Brescovit, A. D., Carvalho, C. J. B., Silva, D. P., Rezende, D. T., Leite, F. S. F., Batista, J. A. N., Barbosa, J. P. P. P. & Santos, A. J. (2017). Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Scientific Reports* 7 (9141). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>
- Optimization G, LLC (2023). gurobi: Gurobi optimizer 11.0 interface. R package version 11.0-0. <https://www.gurobi.com>
- Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Scarano, F. R., Lewinsohn, T. M., Fonseca, C. R., Meyer, S. T., Müller, S. C., Ceotto, P., Dadalt, L., Durigan, G.... & Pillar, V. D. (2015). Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and Distributions* 21(12), 1455–1460. <https://doi.org/10.1111/ddi.12380>
- Pebesma, E., (2018). Simple features for R: Standardized support for spatial vector data. *The R Journal* 10(1), 439-446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Phillips, S. J. & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2), 161–175. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S. J. (2021). Maxnet: Fitting 'maxent' species distribution models with 'glmnet'. R package version 0.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=maxnet>
- Possingham, H. P., Wilson, K. A., Andelman, S. J. & Vynne, C. H. (2006). Protected areas: Goals, limitations, and design. *Principles of Conservation Biology*. Groom, M. J., Meffe, G. K. & C. Ronald, C. R. (Eds.). Sunderland, Massachusetts, U.S.: Sinauer Associates (pp.507-549).
- Pressey, R. L. & Nicholls, A. O. (1989). Application of a numerical algorithm to the selection of reserves in semi-arid New South Wales. *Biological Conservation* 50, 263–278. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(89\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0006-3207(89)90013-X)
- Pressey, R. L., Johnson, I. R. & Wilson, P. D. (1994). Shades of irreplaceability: towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal. *Biodiversity&Conservation* 3, 242–262. <https://doi.org/10.1007/BF00055941>

- Pressey, R. L., Cowling, R. M. & Rouget, M. (2003). Formulating conservation targets for biodiversity pattern and process in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* 112, 99–127. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00424-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00424-X)
- Qin, F., Xue, T., Yang, X., Zhang, W., Wu, J., Huang, Y., Khan, G. & Yu, S. (2022). Conservation status of threatened land plants in China and priority sites for better conservation targets: distribution patterns and conservation gap analysis. *Biodiversity and Conservation* 31, 2063–2082. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02414-9>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ratter, J. A., Ribeiro, J. F. & Bridgewater, S. (1997). The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany* 80(3), 223–230. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>
- Resende, F. M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L. & Loyola, R. (2019). Consequences of delaying actions for safeguarding ecosystem services in the Brazilian Cerrado. *Biological Conservation* 234, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.009>
- Resende, F. M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L., Joner, D. C. & Loyola, R. (2021). The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado. *Ecosystem Services* 49, e101282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101282>
- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Chanson, J. S., Fishpool, L. D. C., Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J.... & Yan, X. (2004a). Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* 54(12), 1092–1100. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:GGAPRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPRF]2.0.CO;2)
- Rodrigues, A. S. L., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Cowling, R. M., Fishpool, L. D. C., Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J., Hoffmann, M.... & Yan, X. (2004b). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428, 640–643. <https://doi.org/10.1038/nature02422>
- SALVE (2022). SALVE - Risco de Extinção da Fauna Brasileira, Instituto Brasileiro de Conservação da Biodiversidade. <https://salve.icmbio.gov.br/> Accessed March 31, 2022
- Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. S. & Ferreira, L. G. (2010). Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166, 113–124. <https://doi.org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-009-0988-4>
- Silva, J. M. C. (1997). Endemic bird species and conservation in the cerrado region, south america. *Biodiversity and Conservation* 6(3), 435–450. <https://doi.org/10.1023/A:1018368809116>
- Silva, J. M. C. & Bates, J. M. (2002). Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical Savanna hotspot. *BioScience* 52(3), 225–233. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)
- Silva, V. N., Pressey, R. L., Machado, R. B., VanDerWal, J., Wiederhecker, H. C., Werneck, F. P. & Colli, G. R. (2014). Formulating conservation targets for a gap analysis of endemic lizards in a biodiversity hotspot. *Biological Conservation* 180, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.09.016>

- Silva, J. M. C., De Souza, M. A., Ribeiro, V. & Machado, R. B. (2018). Niche expansion of the common waxbill (*Estrilda astrild*) in its non-native range in Brazil. *Biol Invasions* 20(9), 2635–2646. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1723-2>
- Silva, F. P., De Marco Jr, P. (2023). The role of protected areas in safeguarding bat diversity in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 32, 2909–2924. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02635-6>
- Sawyer, D., Mesquita, B., Coutinho, B., Almeida, F. V., Figueiredo, I., Lamas, I., Pereira, L. E., Pinto, L. P., Pires, M. O. & Kasecker, T., (2018). Ecosystem profile - Cerrado Biodiversity Hotspot. *Supernova*, Brasília.
- Stiels, D., Schidelko, K., Engler, J. O., Van Den Elzen, R. & Rödder, D. (2011). Predicting the potential distribution of the invasive Common Waxbill *Estrilda astrild* (Passeriformes: Estrildidae). *Journal of Ornithology* 152, 769–780. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0662-9>
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A., Oliveira Filho, F. J., De Mattos Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F. R.... & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution* 1, e0099. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K. & Merriam, G. (1993). Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. *Oikos* 68(3), 571–573. <https://doi.org/10.2307/3544927>
- Terrabrasilis (2022). Portal TerraBrasilis do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/> Accessed March 31, 2022
- Urban, D. & Keith, T. (2001). Landscape connectivity: a Graph-theoretic perspective. *Ecology* 82 (5), 1205–1218. <https://doi.org/10.2307/2679983>
- Velazco, S. J. E., Ribeiro, B. R., Laureto, L. M. O. & De Marco Jr., P. (2020). Overprediction of species distribution models in conservation planning: A still neglected issue with strong effects. *Biological Conservation* 252, e108822. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108822>
- Vieira, R. R. S., Ribeiro, B. R., Resende, F. M., Brum, F. T., Machado, N., Sales, L. P., Macedo, L., Soares-Filho, B. & Loyola, R. (2018). Compliance to Brazil's Forest Code will not protect biodiversity and ecosystem services. *Diversity and Distributions* 24(4), 434–438. <https://doi.org/10.1111/ddi.12700>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K. & Vaughan, D. (2023). dplyr: A grammar of data manipulation. R package version 1.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Wilcove, D. S., McLellan, C. H. & Dobson, A. P. (1986). Habitat fragmentation in the temperate zone. *Conservation Biology*. *The Science of Scarcity and Diversity*. M. E. Soul6 (pp.237-256), Sunderland.
- xeno-canto (2022). Xeno-canto – Sharing wildlife sounds from around the world. <https://xeno-canto.org/> Accessed March 31, 2022
- Yang, B., Qin, S., Xu, W., Busch, J., Yang, X., Gu, X., Yang, Z., Wang, B., Dai, Q. & Xu, Y. (2020). Gap Analysis of Giant Panda Conservation as an Example for Planning China's National Park System. *Current Biology* 30(7), 1287-1291. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.069>

Figure legends

Figure 1: Potential distribution maps for *Alectrurus tricolor* in Brazil. **Figure 1a:** environmental suitability map, scaled values from zero to one. **Figure 1b:** binary map after conversion with values of zero indicating absence and one potential presence. Dashed black lines: the extent of the biome in Brazil. Light gray lines: extent of Brazilian states.

Figure 2: Maps resulting from complementarity analysis, showing the network of protected areas considered in the biome and the complementary areas necessary to achieve the conservation target of minimally 30% of the distribution of the 65 bird species, in each scenario. **Figure 2a:** Scenario 1. **Figure 2b:** Scenario 2. **Figure 2c:** Scenario 3.

Figure 3: The conservation cost map generated for the Cerrado represents landscape connectivity in the biome.

Figure 4: Histogram illustrating difference between the means of species protection in each scenario.

Table legends

Table 1: List of target species under study, their threat categories or endemism, total potential distribution area in the Cerrado and protected areas within the biome, conservation goals, and established weights. **Notes:** **1.** Status according to IUCN/MMA (VU = Vulnerable, EN = Endangered, CR = Critically Endangered, and LC = Least Concern); Pot. Dist.= Potential Distribution; **2.** Potential distribution area of species resulting from niche modeling; **3.** Potential distribution area of species in the Cerrado; **4.** Potential distribution areas of species in protected areas in the Cerrado; **5.** Percentage of the potential distribution area of species in the Cerrado within protected areas; **6.** Conservation goal as a percentage of the potential distribution area within the biome boundary used in the analysis; **7.** Weights used in the analysis.

Table S1: Selected protected areas for analysis, including management categories, total area, administrative jurisdiction, and encompassed states. **Notes:** **1.** Protected areas acronyms according to the National System of Conservation Units (SNUC): Ecological Station (Esec); National Park (Parna); Natural Monument (Mona); Biological Reserve (Rebio); Wildlife Refuge (Revis); Environmental Protection Area (Apa); Extractive Reserve (Resex); Sustainable Development Reserve (Rds); and National Forest (Flona); **2.** Brazilian states: Minas Gerais (MG), Piauí (PI), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Bahia (BA), Maranhão (MA), Tocantins (TO), Distrito Federal (DF), Mato Grosso do Sul (MS), Paraná (PR), São Paulo (SP), and Ceará (CE).

Table S2: Selected Indigenous Lands for analysis, ethnic group names, total area, and encompassed states. **Note:** **1.** Brazilian states: Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT), Minas Gerais (MG), Tocantins (TO), Goiás (GO), Maranhão (MA), Rondônia (RO), and Pará (PA).

Table S3: Land use classes from the MapBiomias (collection 8) and the weights assigned in the reclassification for the production of the cost map in the complementarity analysis, based on suitability as habitat for the target species

Table S4: Species, percentage of their potential distribution areas in protected areas in the Cerrado, defined goals, and goals maintained per species in each conservation scenario. **Notes:** **1.** Scenario 1: considering only areas of strict protection; **2.** Scenario 2: considering areas of strict protection and sustainable use; and **3.** Scenario 3: considering all protected areas, including indigenous lands.

Figures

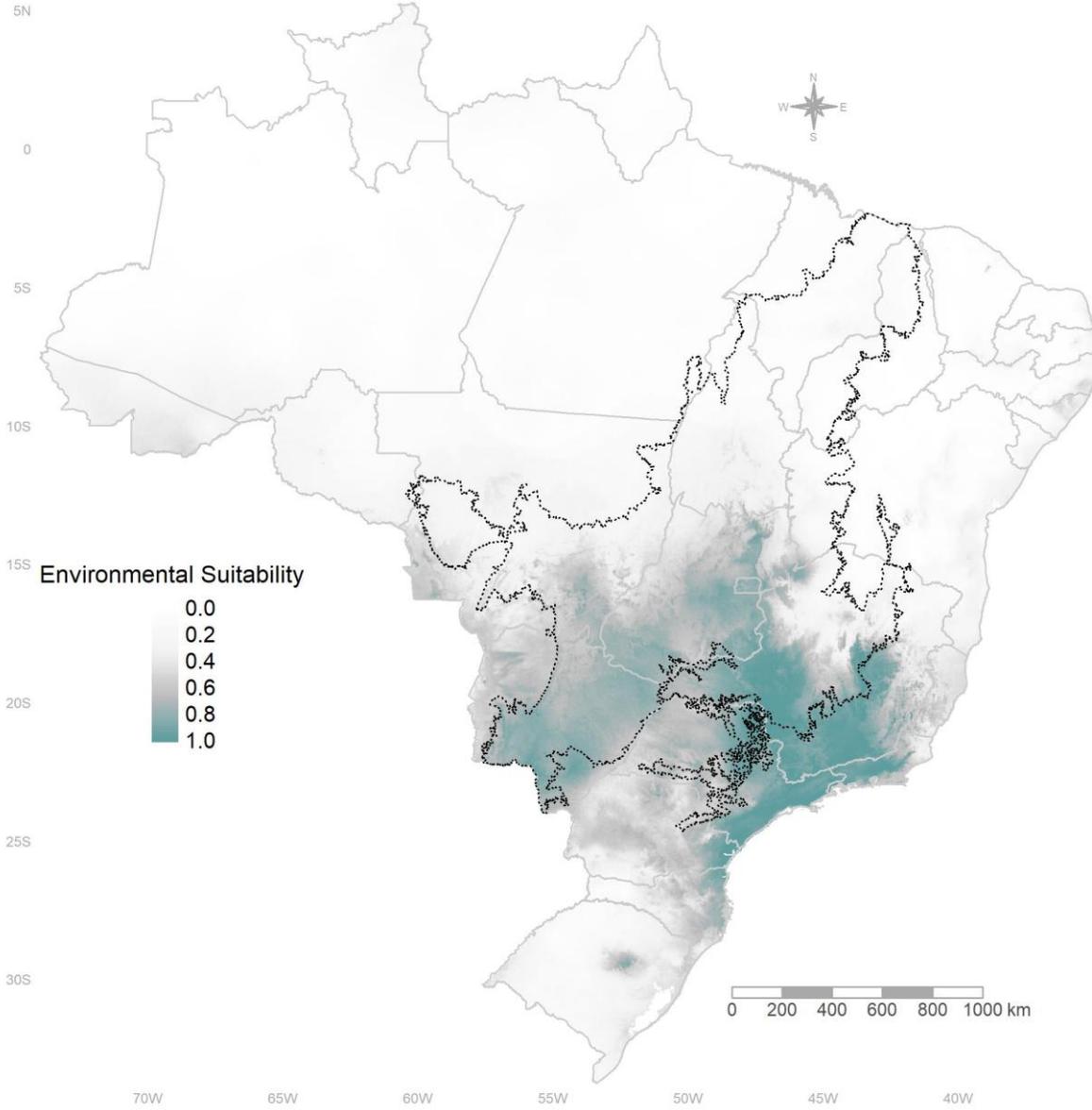


Figure 1a

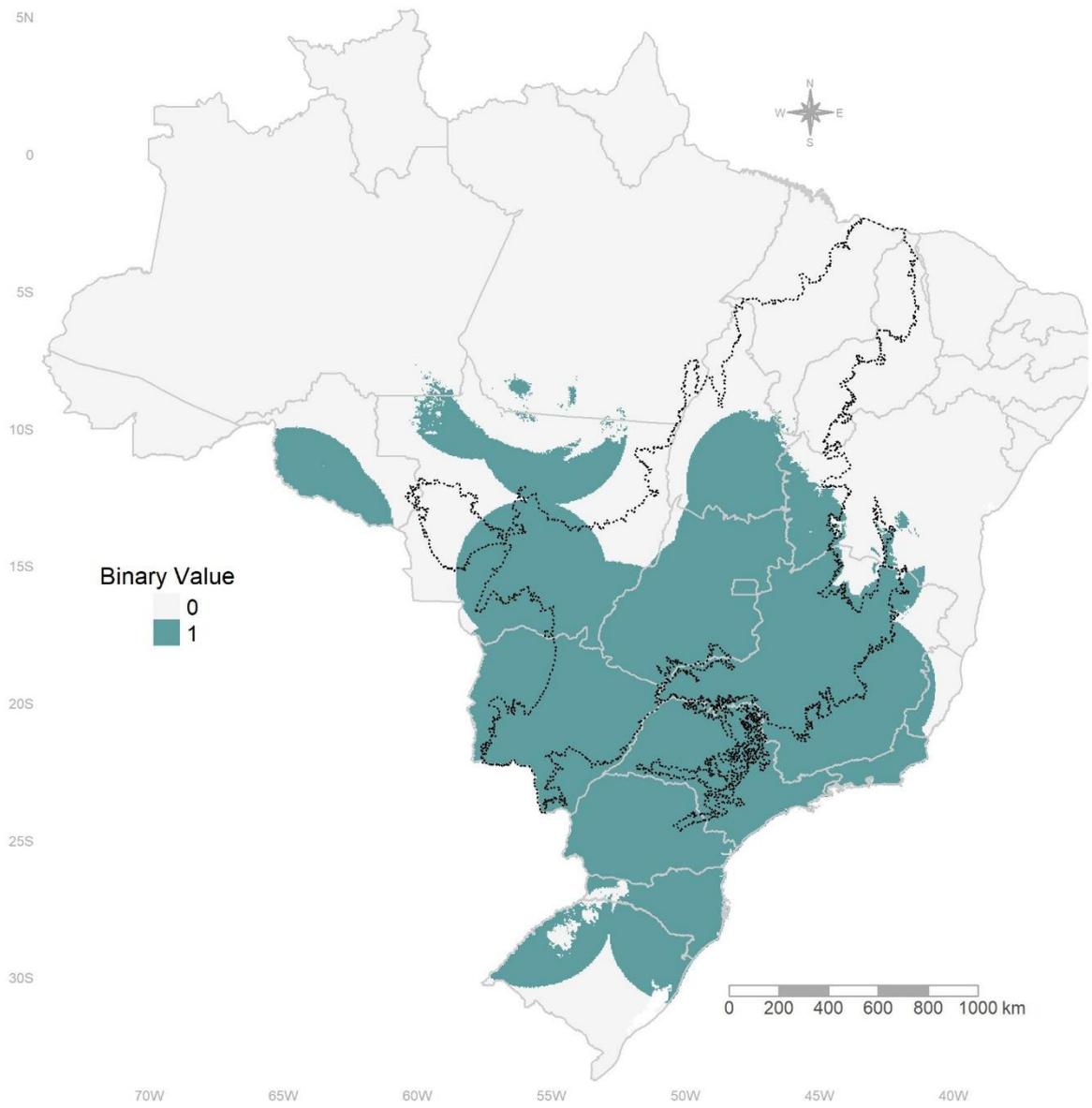


Figure 1b

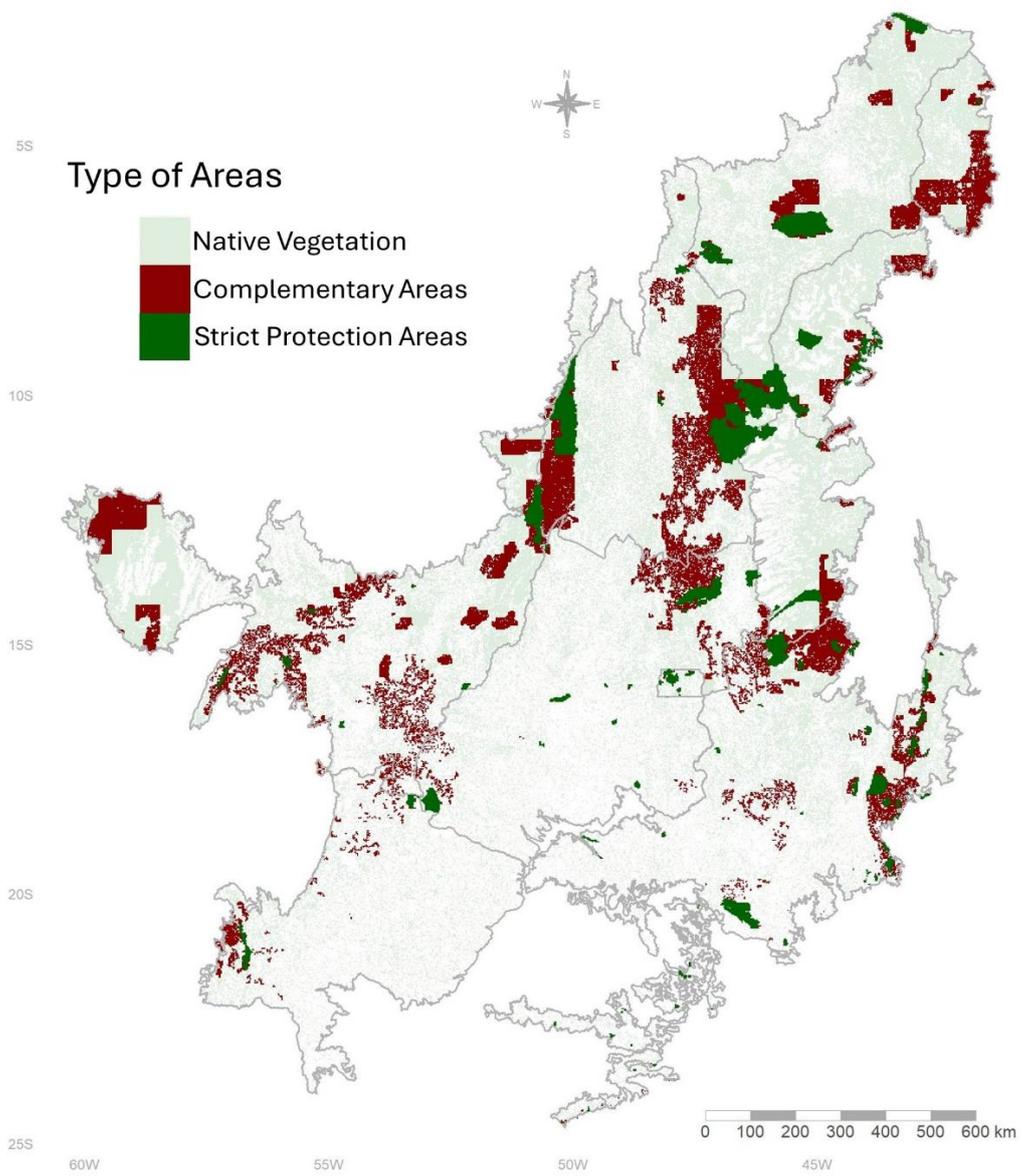


Figure 2a

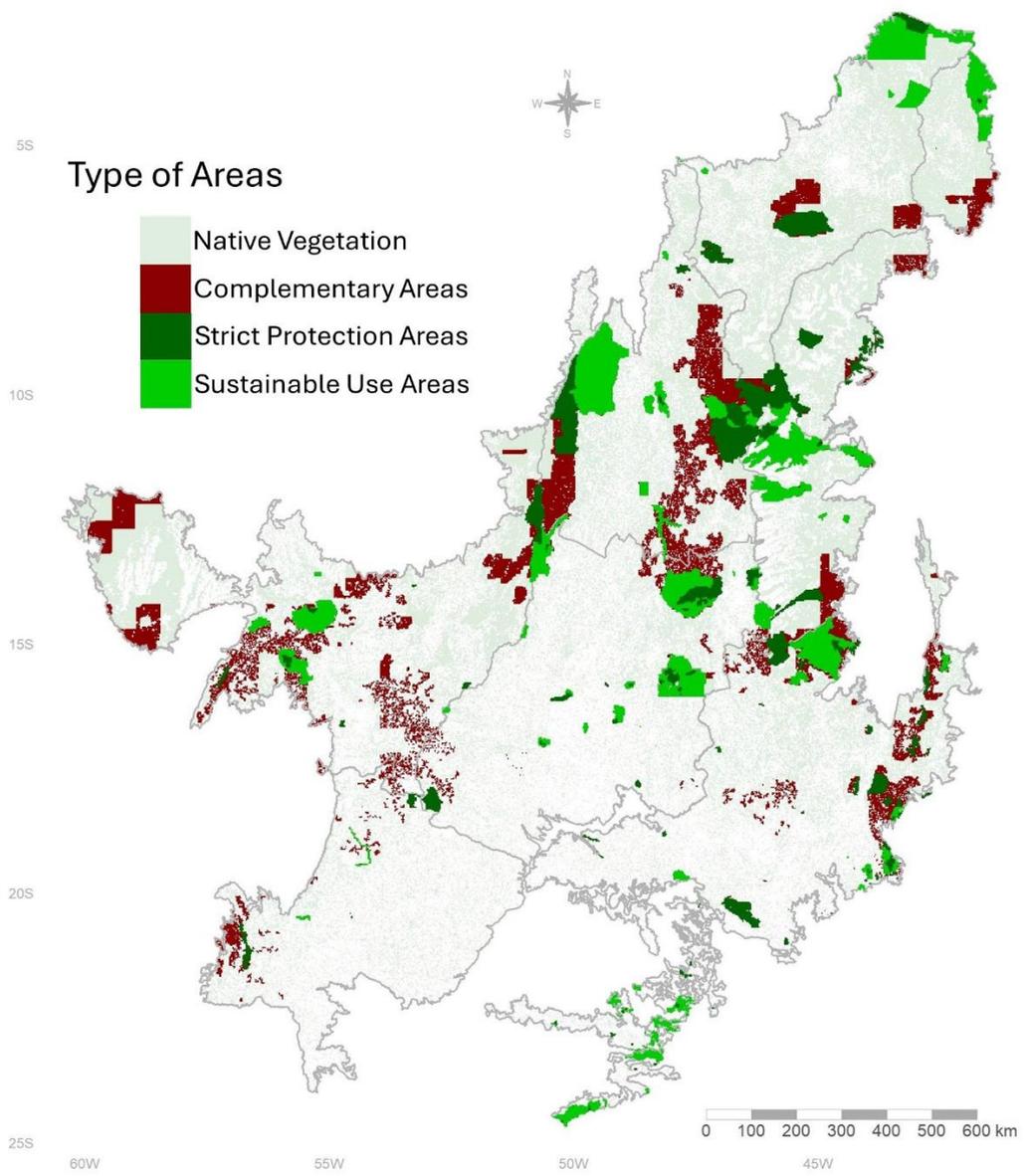


Figure 2b

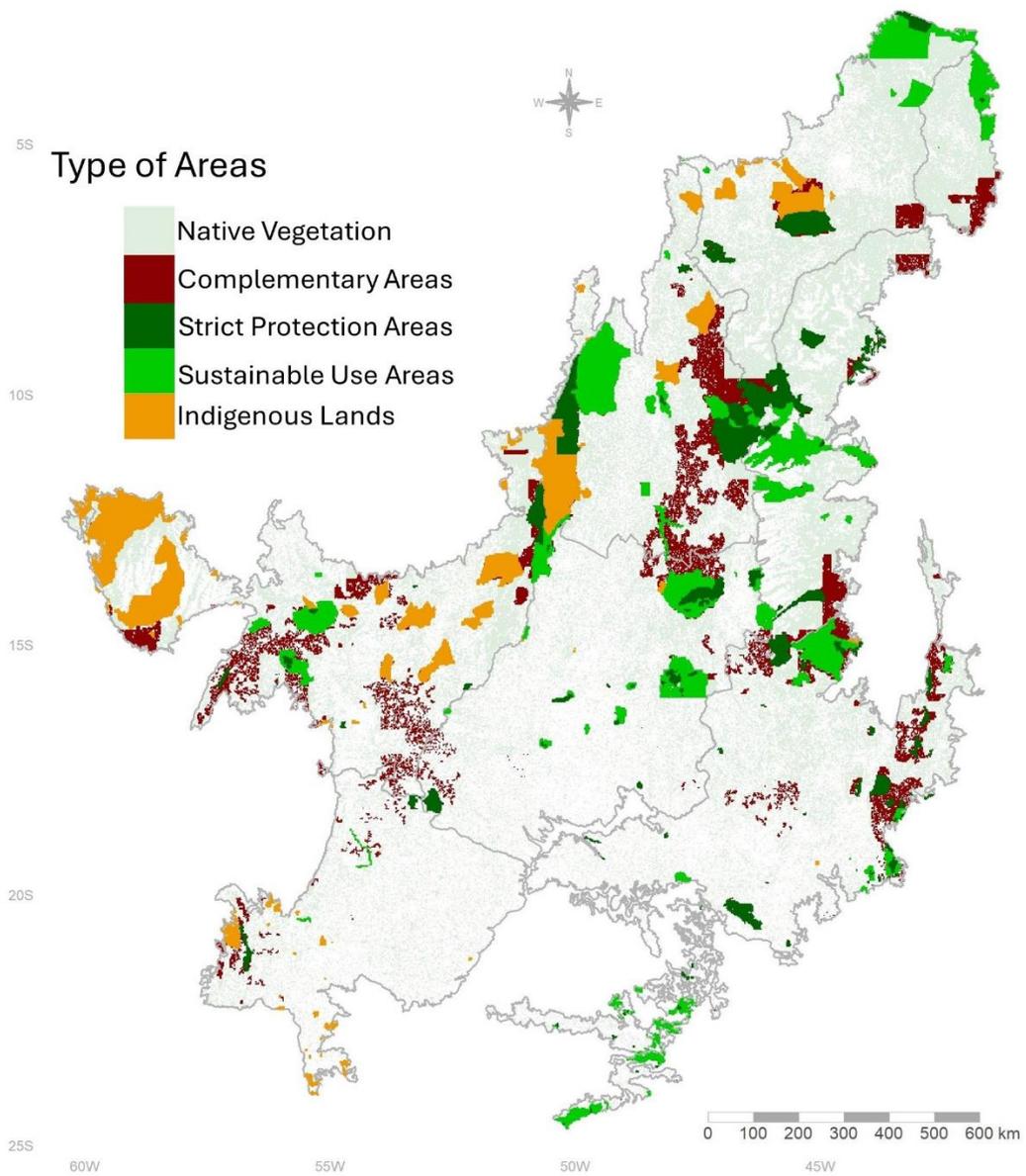


Figure 2c

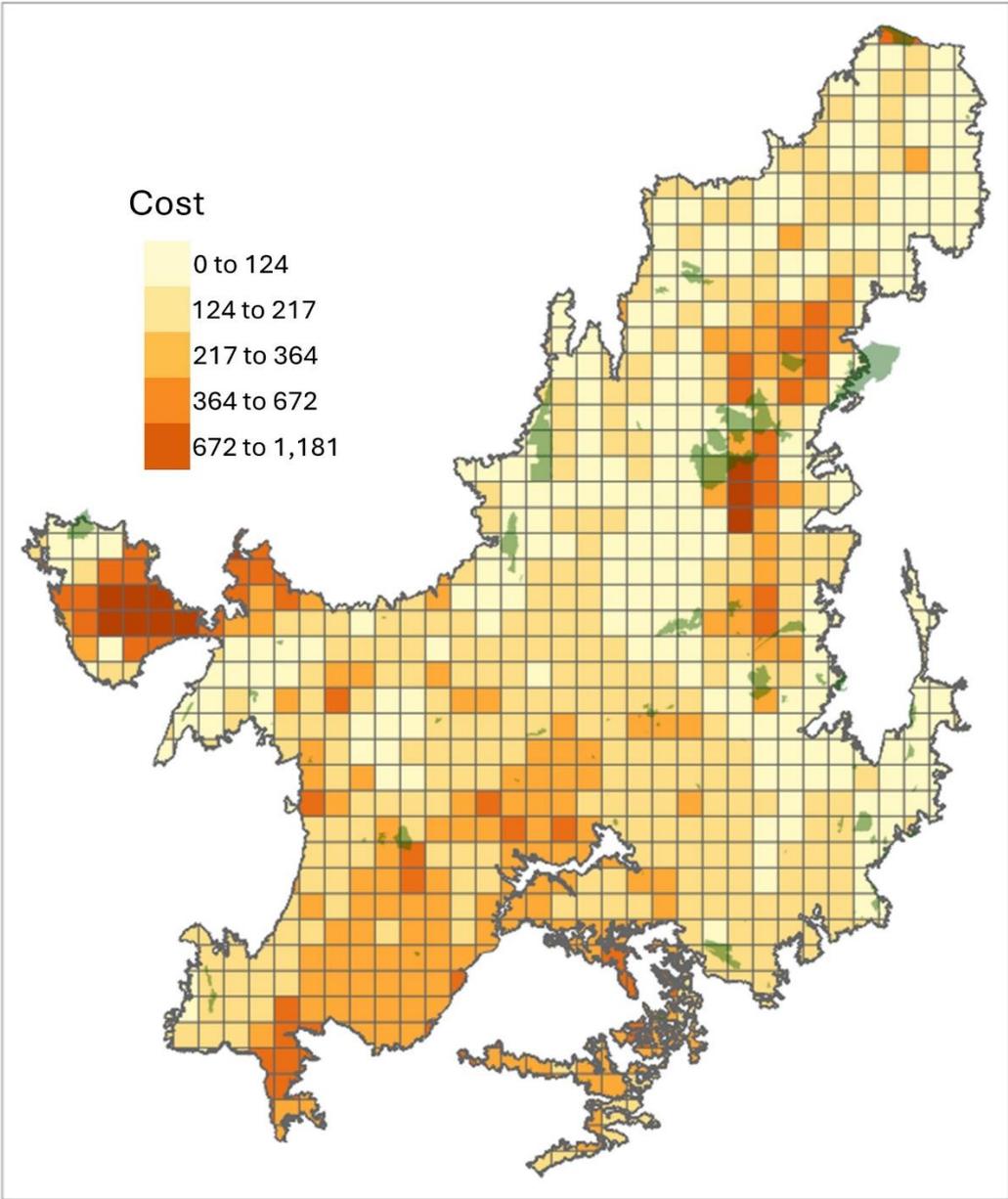


Figure 3

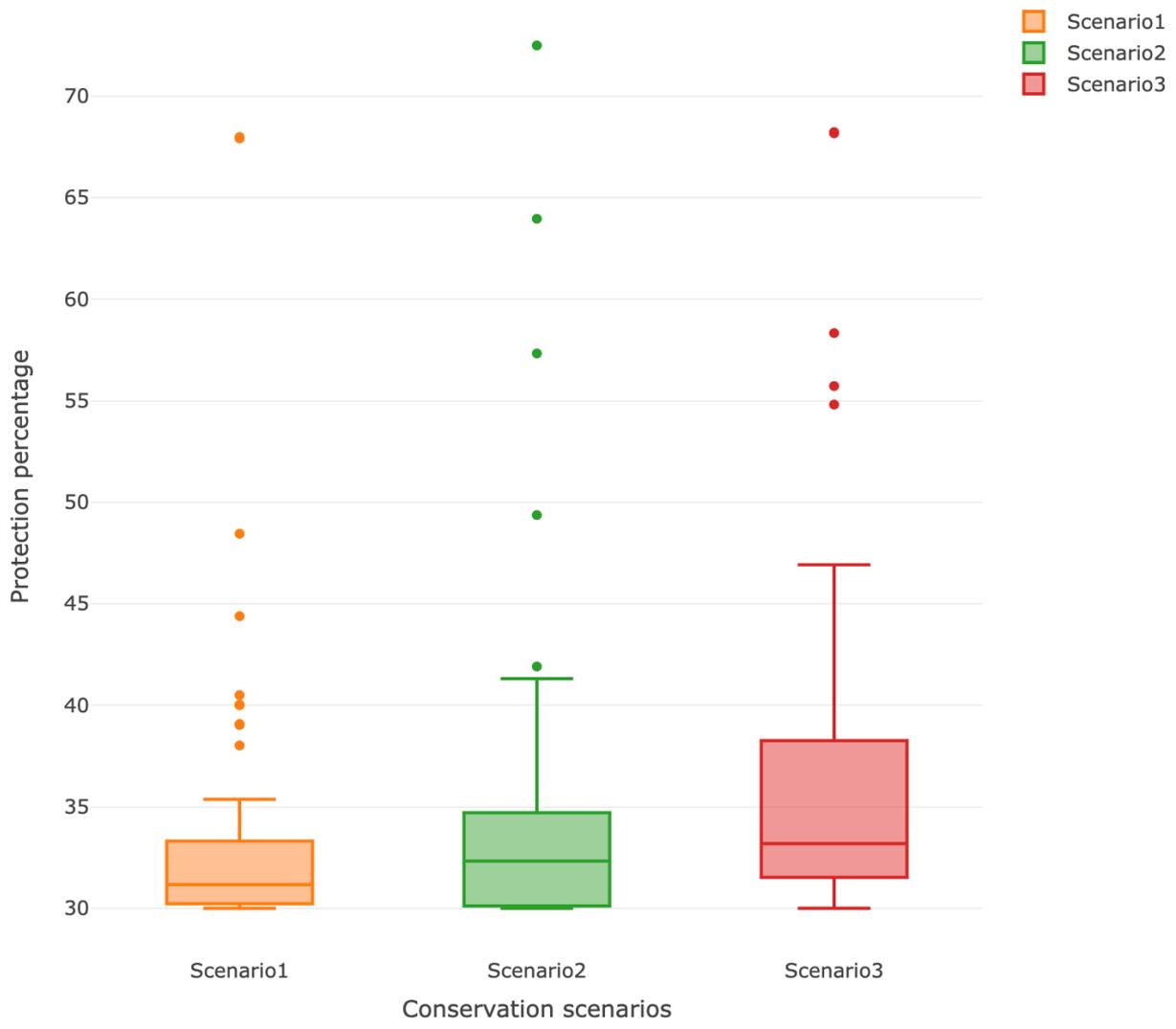


Figure 4

Tables

Table 1: List of target species under study, their threat categories or endemism, total potential distribution area in the Cerrado and protected areas within the biome, conservation goals, and established weights.

Especies	Status ¹	Endemism	Boyce	Pot, Dist ² (km ²)	Pot, Dist ³ (km ²)	Pot, Dist ⁴ (km ²)	Pot. Dist ⁵ (%)	Target ⁶ (%)	Weight ⁷
<i>Alectrurus tricolor</i>	VU	x	0.60	3,875,407.20	1,405,401.12	124,330.68	8.85	30	3
<i>Alipiopsitta xanthops</i>	NT	x	0.61	3,090,883.14	1,683,884.88	222,737.76	13.23	30	1
<i>Amazona vinacea</i>	VU		0.76	733,203.54	81,939.78	12,739.50	15.55	30	2
<i>Anthus nattereri</i>	VU		0.33	1,293,156.72	87,203.16	14,175.90	16.26	30	2
<i>Antilophia galeata</i>	LC	x	0.54	2,609,894.34	1,488,089.88	160,138.08	10.76	30	1
<i>Arremon flavirostris</i>	LC	x	0.41	5,010,091.38	1,417,234.32	156,998.52	11.08	30	1
<i>Asthenes luizae</i>	NT	x	0.33	81,871.38	40,301.28	8,245.62	20.46	40	1
<i>Augastes scutatus</i>	LC	x	0.76	534,771.72	299,578.32	29,832.66	9.96	30	1
<i>Buteogallus coronatus</i>	EN		0.61	6,001,043.22	1,585,392.30	186,834.60	11.78	30	3
<i>Campylopterus calcirupicola</i>	EN		0.34	579,337.74	425,971.26	55,345.86	12.99	30	3
<i>Celeus obrieni</i>	VU	x	0.70	1,614,352.86	1,150,645.32	203,736.24	17.71	30	3
<i>Cercomacra ferdinandi</i>	NT	x	0.65	851,104.62	411,449.94	89,091.00	21.65	30	1
<i>Charitospiza eucosma</i>	NT	x	0.50	3,055,855.50	1,737,349.74	244,892.52	14.10	30	1
<i>Cinclodes espinhacensis</i>	EN	x	0.62	13,840.74	7,493.22	2,390.58	31.90	50	4
<i>Clibanornis rectirostris</i>	LC	x	0.43	2,204,761.14	1,268,330.94	113,434.56	8.94	30	1
<i>Columbina cyanopis</i>	CR	x	0.10	1,570,416.12	1,014,570.36	85,694.94	8.45	30	5
<i>Conothraupis mesoleuca</i>	EN	x	0.80	1,108,086.84	484,152.30	59,172.84	12.22	30	4
<i>Coryphaspiza melanotis</i>	VU	x	---	2,131,224.30	874,223.82	82,018.44	9.38	30	3
<i>Crypturellus zabele</i>	VU		0.55	1,560,139.02	433,594.44	67,155.12	15.49	30	2
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	LC	x	0.91	4,425,620.22	1,951,130.52	267,276.42	13.70	30	1
<i>Eleothreptus candicans</i>	VU	x	---	1,467,043.20	621,810.72	34,774.56	5.59	30	3
<i>Embernagra longicauda</i>	LC	x	0.54	256,534.20	131,721.30	10,926.90	8.30	40	1
<i>Euscarthmus rufomarginatus</i>	NT	x	0.66	4,215,515.94	1,818,078.84	269,615.70	14.83	30	1
<i>Geositta poeciloptera</i>	VU	x	0.81	3,146,502.60	1,497,221.28	171,020.52	11.42	30	3
<i>Guyramemua affine</i>	NT	x	0.35	2,488,026.06	1,526,599.08	217,932.66	14.28	30	1
<i>Harpia harpyja</i>	VU		0.57	8,854,444.98	1,224,903.78	168,452.10	13.75	30	2
<i>Herpsilochmus longirostris</i>	LC	x	0.65	3,149,026.56	1,565,682.84	206,390.16	13.18	30	1
<i>Hypocnemis ochrogyna</i>	VU		0.51	1,518,787.80	260,556.12	58,423.86	22.42	30	2
<i>Hypocnemis striata</i>	VU		0.44	1,980,087.66	90,394.02	43,310.88	47.91	30	2
<i>Knipolegus franciscanus</i>	LC	x	---	1,097,761.86	775,779.12	99,351.00	12.81	30	1
<i>Laterallus xenopterus</i>	VU	x	0.30	1,719,425.52	1,034,259.30	101,724.48	9.84	30	3
<i>Lophornis gouldii</i>	VU		---	3,292,304.04	999,142.74	201,817.62	20.20	30	2
<i>Melanopareia torquata</i>	LC	x	0.66	4,793,841.36	2,001,985.92	276,944.76	13.83	30	1
<i>Mergus octosetaceus</i>	CR		0.09	1,720,978.20	1,012,480.74	108,557.64	10.72	30	4
<i>Microspingus cinereus</i>	LC	x	0.88	4,012,730.46	1,401,820.38	126,652.86	9.03	30	1
<i>Morphnus guianensis</i>	VU		0.68	6,202,108.44	321,196.14	24,695.82	7.69	30	2
<i>Myiothlypis leucophrys</i>	LC	x	0.62	1,532,939.76	1,038,093.12	91,125.90	8.78	30	1
<i>Neothraupis fasciata</i>	NT	x	0.74	4,868,205.84	1,980,080.82	269,858.52	13.63	30	1
<i>Nothura minor</i>	EN		0.82	1,349,453.34	846,111.42	74,070.36	8.75	30	3

<i>Nyctiprogne vielliardi</i>	EN	x	0.58	379,414.80	185,172.48	25,872.30	13.97	30	4
<i>Paroaria baeri</i>	LC	x	0.10	514,005.48	276,701.94	68,714.64	24.83	30	1
<i>Penelope jacucaca</i>	VU		0.61	2,374,947.18	971,399.70	123,000.30	12.66	30	2
<i>Penelope ochrogaster</i>	VU	x	0.81	3,394,510.74	1,742,267.70	244,755.72	14.05	30	3
<i>Phaethornis nattereri</i>	LC	x	0.57	1,243,057.14	347,865.30	41,857.38	12.03	30	1
<i>Phyllomyias reiseri</i>	LC	x	0.26	1,521,120.24	1,083,192.66	107,644.50	9.94	30	1
<i>Phylloscartes roquettei</i>	EN	x	0.72	1,132,115.76	526,225.14	43,967.52	8.36	30	4
<i>Pipile pipile</i>	VU		0.54	3,834,162.00	598,045.14	127,381.32	21.30	30	2
<i>Polystictus superciliaris</i>	LC	x	0.75	169,823.52	73,984.86	9,387.90	12.69	40	1
<i>Porphyrospiza caerulescens</i>	NT	x	0.76	4,266,545.76	1,915,278.66	267,539.76	13.97	30	1
<i>Pyrrhura amazonum</i>	VU		0.68	2,053,261.98	158,739.30	58,133.16	36.62	30	2
<i>Pyrrhura pfrimeri</i>	EN	x	0.26	260,723.70	254,557.44	36,847.08	14.47	40	4
<i>Saltatricula atricollis</i>	LC	x	0.72	5,426,524.26	2,009,055.06	278,712.90	13.87	30	1
<i>Scytalopus novacapitalis</i>	EN		0.66	282,297.06	174,871.44	21,552.84	12.32	40	3
<i>Sporophila beltoni</i>	VU		0.82	537,107.58	35,055.00	6,638.22	18.94	30	2
<i>Sporophila hypoxantha</i>	VU		0.70	4,340,506.68	662,867.82	41,553.00	6.27	30	2
<i>Sporophila maximiliani</i>	CR		---	3,889,206.90	1,568,213.64	149,782.32	9.55	30	4
<i>Sporophila melanogaster</i>	VU		0.80	910,239.84	248,671.62	22,021.38	8.86	30	2
<i>Sporophila nigrorufa</i>	VU	x	0.77	1,519,068.24	4,032.18	1,720.26	42.66	30	3
<i>Sporophila palustris</i>	VU		0.53	1,491,212.34	165,982.86	14,333.22	8.64	30	2
<i>Sporophila ruficollis</i>	VU		0.73	4,029,823.62	645,682.32	59,443.02	9.21	30	2
<i>Syndactyla dimidiata</i>	LC	x	0.40	2,401,469.28	1,326,898.44	118,680.84	8.94	30	1
<i>Taoniscus nanus</i>	EN	x	0.59	1,242,109.80	720,135.72	66,204.36	9.19	30	4
<i>Tigrisoma fasciatum</i>	VU		0.79	6,752,523.24	1,283,488.38	156,365.82	12.18	30	2
<i>Tinamus tao</i>	VU		0.46	6,042,756.96	805,970.88	177,494.58	22.02	30	2
<i>Uropelia campestris</i>	LC	x	0.65	3,084,956.28	1,741,163.04	236,773.44	13.60	30	1

1. Status according to IUCN/MMA (VU = Vulnerable, EN = Endangered, CR = Critically Endangered, and LC = Least Concern); Pot. Dist.= Potential Distribution; **2.** Potential distribution area of species resulting from niche modeling; **3.** Potential distribution area of species in the Cerrado; **4.** Potential distribution areas of species in protected areas in the Cerrado; **5.** Percentage of the potential distribution area of species in the Cerrado within protected areas; **6.** Conservation goal as a percentage of the potential distribution area within the biome boundary used in the analysis; **7.** Weights used in the analysis.

Supplementary Material

Table S1: Selected protected areas for analysis, including management categories, total area, administrative jurisdiction, and encompassed states.

Name ¹	Category SNUC	Category IUCN	Area (km ²)	Administrative Sphere	State ²
Esec de Pirapitinga	Strict protection	Ia	13.84	Federal	MG
Esec de Uruçuí-Una	Strict protection	Ia	1,351.23	Federal	PI
Esec da Serra das Araras	Strict protection	Ia	271.59	Federal	MT
Parna Cavernas do Peruaçu	Strict protection	II	564.48	Federal	MG
Parna da Chapada dos Veadeiros	Strict protection	II	2,405.82	Federal	GO
Parna da Serra da Canastra	Strict protection	II	1,979.69	Federal	MG
Parna Serra das Confusões	Strict protection	II	8,238.34	Federal	PI
Parna da Serra do Cipó	Strict protection	II	316.39	Federal	MG
Parna das Emas	Strict protection	II	1,327.84	Federal	GO
Parna das Nascentes do Rio Parnaíba	Strict protection	II	7,497.60	Federal	BA, MA, PI, TO
Parna de Brasília	Strict protection	II	423.55	Federal	DF, GO
Parna de Sete Cidades	Strict protection	II	63.04	Federal	PI
Parna do Araguaia	Strict protection	II	5,554.96	Federal	TO
Parna dos Lençóis Maranhenses	Strict protection	II	1,565.65	Federal	MA
Rebio da Contagem	Strict protection	Ia	34.12	Federal	DF
Parna da Chapada das Mesas	Strict protection	II	1,599.51	Federal	MA
Mona Estadual Gruta Rei do Mato	Strict protection	III	1.41	State	MG
Parque Estadual Rio Preto	Strict protection	II	121.85	State	MG
Esec Mata dos Ausentes	Strict protection	Ia	4.55	State	MG
Esec de Corumbá	Strict protection	Ia	3.10	State	MG
Parque Estadual do Sumidouro	Strict protection	II	20.06	State	MG
Parque Estadual Serra das Araras	Strict protection	II	135.53	State	MG
Parque Estadual Grão Mogol	Strict protection	II	283.90	State	MG
Parque Estadual Biribiri	Strict protection	II	170.03	State	MG
Parque Estadual Serra Negra	Strict protection	II	131.06	State	MG
Parque Estadual Veredas do Peruaçu	Strict protection	II	312.50	State	MG
Parque Estadual Pico do Itambé	Strict protection	II	65.21	State	MG
Parque Estadual de Sagarana	Strict protection	II	23.42	State	MG
Parque Estadual do Prosa	Strict protection	II	1.33	State	MS
Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari	Strict protection	II	305.97	State	MS

Parque Estadual Matas do Segredo	Strict protection	II	1.77	State	MS
Parque Estadual Águas do Cuiabá	Strict protection	II	109.62	State	MT
Rebio Culuene	Strict protection	Ia	36.14	State	MT
Parque Estadual Dom Osório Stoffel	Strict protection	II	64.21	State	MT
Parque Estadual Mãe Bonifácia	Strict protection	II	0.77	State	MT
Parque Estadual Serra Azul	Strict protection	II	110.07	State	MT
Revis Corixão da Mata Azul	Strict protection	III	357.08	State	MT
Parque Estadual Massairo Okamura	Strict protection	II	0.53	State	MT
Parque Estadual do Quartelá	Strict protection	II	7.88	State	PR
Esec Jataí	Strict protection	Ia	90.00	State	SP
Parque Estadual Das Furnas do Bom Jesus	Strict protection	II	20.63	State	SP
Parque Estadual De Vassununga	Strict protection	II	20.65	State	SP
Parque Estadual Serra Nova e Talhado	Strict protection	II	498.56	State	MG
Parque Estadual Campos Altos	Strict protection	II	7.83	State	MG
Parque Estadual da Serra do Cabral	Strict protection	II	224.44	State	MG
Mona Estadual Peter Lund	Strict protection	III	0.73	State	MG
Esec do Rio Preto	Strict protection	Ia	48.79	State	BA
Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco	Strict protection	II	31.39	State	GO
Parque Estadual da Lapa Grande	Strict protection	II	153.73	State	MG
Parque Estadual de Águas Quentes	Strict protection	II	15.07	State	MT
Parque Estadual do Jalapão	Strict protection	II	1,589.70	State	TO
Parque Estadual do Cantão	Strict protection	II	1,004.12	State	TO
Parque Estadual do Lajeado	Strict protection	II	107.50	State	TO
Mona das Árvores Fossilizadas do Estado do TO	Strict protection	III	325.48	State	TO
Mona da Gruta do Lago Azul	Strict protection	III	2.39	State	MS
Mona do Rio Formoso	Strict protection	III	0.18	State	MS
Parque Estadual Vale do Códó	Strict protection	II	8.63	State	PR
Esec de Águas Emendadas	Strict protection	Ia	91.81	State	DF
Rebio do Cerradão	Strict protection	Ia	0.54	State	DF
Esec do Jardim Botânico	Strict protection	Ia	45.02	State	DF
Rebio do Guará	Strict protection	Ia	1.45	State	DF
Rebio do Gama	Strict protection	Ia	5.37	State	DF

Rebio do Rio Descoberto	Strict protection	Ia	4.34	State	DF
Parque Estadual da Serra de Caldas Novas	Strict protection	II	121.59	State	GO
Parque Estadual dos Pirineus	Strict protection	II	28.37	State	GO
Parque Estadual de Terra Ronca	Strict protection	II	569.82	State	GO
Parque Estadual da Serra de Jaraguá	Strict protection	II	28.29	State	GO
Parque Estadual de Paraúna	Strict protection	II	33.35	State	GO
Parque Estadual do Araguaia	Strict protection	II	46.63	State	GO
Parque Estadual da Serra Dourada	Strict protection	II	286.43	State	GO
Esec de Acauã	Strict protection	Ia	48.62	State	MG
Parque Estadual Serra do Intendente	Strict protection	II	135.12	State	MG
Parque Estadual do Pau Furado	Strict protection	II	21.86	State	MG
Parque Estadual de Montezuma	Strict protection	II	17.41	State	MG
Parque Estadual Zé Bolo Flô	Strict protection	II	0.52	State	MT
Mona do Conjunto Espeleológico do Morro da Pedreira	Strict protection	III	0.91	State	DF
Parque Estadual do Araguaiaa	Strict protection	II	2,299.18	State	MT
Mona Morro de Santo Antônio	Strict protection	III	2.58	State	MT
Parque Estadual do Limoeiro	Strict protection	II	20.09	State	MG
Parque Estadual de Paracatu	Strict protection	II	63.98	State	MG
Mona Estadual Vargem da Pedra	Strict protection	III	0.10	State	MG
Mona Experiência da Jaguara	Strict protection	III	0.39	State	MG
Mona Estadual Lapa Vermelha	Strict protection	III	0.33	State	MG
Parque Estadual Cerca Grande	Strict protection	II	1.34	State	MG
Esec de Avaré	Strict protection	Ia	7.19	State	SP
Parque Estadual Serra do Sobrado	Strict protection	II	3.84	State	MG
Esec de Mogi-Guaçu	Strict protection	Ia	9.88	State	SP
Revis Estadual dos Rios Tijuco E da Prata	Strict protection	III	97.53	State	MG
Mona Estadual De Santo Antônio	Strict protection	III	0.31	State	MG
Mona Estadual Várzea do Lageado E Serra do Raio	Strict protection	III	22.00	State	MG
Mona Estadual Várzea da Lapa	Strict protection	III	0.24	State	MG
Esec de Itapeva	Strict protection	Ia	0.99	State	SP
Esec de Paranapanema	Strict protection	Ia	6.35	State	SP

Esec de Santa Maria	Strict protection	Ia	13.12	State	SP
Esec de Santa Bárbara	Strict protection	Ia	31.64	State	SP
Esec de Itirapina	Strict protection	Ia	22.06	State	SP
Esec de Assis	Strict protection	Ia	17.48	State	SP
Esec de Angatuba	Strict protection	Ia	13.63	State	SP
Parque Estadual do João Leite	Strict protection	II	28.38	State	GO
Revis Estadual Macaúbas	Strict protection	III	22.84	State	MG
Revis Estadual Serra das Aroeiras	Strict protection	III	10.36	State	MG
Parque Distrital Salto do Tororó	Strict protection	II	0.61	State	DF
Revis Da Mata Seca	Strict protection	III	2.53	State	DF
Mona Estadual Lapa Nova de Vazante	Strict protection	III	0.79	State	MG
Parque Estadual de Botumirim	Strict protection	II	352.87	State	MG
Revis Aimorés	Strict protection	III	17.24	State	SP
Esec Chapada de Nova Roma	Strict protection	Ia	69.30	State	GO
Parque Estadual Águas Lindas	Strict protection	II	20.09	State	GO
Parque Estadual Águas do Paraíso	Strict protection	II	56.75	State	GO
Parque Estadual Serra Verde	Strict protection	II	1.42	State	MG
Parna das Sempre Vivas	Strict protection	II	1,241.54	Federal	MG
Parque Estadual de Mirador	Strict protection	II	5,012.04	State	MA
Parque Estadual Serra da Boa Esperança	Strict protection	II	58.82	State	MG
Parna Grande Sertão Veredas	Strict protection	II	2,308.53	Federal	BA, MG
Revis das Veredas do Oeste Baiano	Strict protection	III	1,280.48	Federal	BA
Parna da Serra da Bodoquena	Strict protection	II	769.75	Federal	MS
Esec Serra Geral Do TO	Strict protection	Ia	7,070.78	Federal	BA, TO
Parna da Chapada dos Guimarães	Strict protection	II	326.47	Federal	MT
Apa Cavernas do Peruaçu	Sustainable use	V	1,433.53	Federal	MG
Apa da Bacia do Rio São Bartolomeu	Sustainable use	V	826.79	Federal	DF
Apa Serra da Tabatinga	Sustainable use	V	417.79	Federal	TO
Apa Delta do Parnaíba	Sustainable use	V	3,095.83	Federal	CE, MA, PI
Apa Ilhas e Várzeas do Rio Paraná	Sustainable use	V	10,051.73	Federal	MS, PR, SP
Apa Morro da Pedreira	Sustainable use	V	1,317.68	Federal	MG
Flona de Brasília	Sustainable use	VI	56.23	Federal	DF, GO
Flona de Cristópolis	Sustainable use	VI	128.40	Federal	BA

Flona de Palmares	Sustainable use	VI	1.68	Federal	PI
Flona de Paraopeba	Sustainable use	VI	2.03	Federal	MG
Flona da Mata Grande	Sustainable use	VI	20.10	Federal	GO
Resex Marinha Do Delta Do Parnaiba	Sustainable use	VI	270.21	Federal	MA, PI
Resex Mata Grande	Sustainable use	VI	114.31	Federal	MA
Apa João Leite	Sustainable use	V	713.41	State	GO
Apa Bacia Do Rio Pandeiros	Sustainable use	V	3,941.72	State	MG
Apa Vargem Das Flores	Sustainable use	V	122.79	State	MG
Apa Águas Vertentes	Sustainable use	V	762.85	State	MG
Apa das CabeceirasDo Rio Cuiabá	Sustainable use	V	4,732.10	State	MT
Apa da Chapada dos Guimarães	Sustainable use	V	2,534.40	State	MT
Apa do Salto Magessi	Sustainable use	V	78.45	State	MT
Apa Estadual da Escarpa Devoniana	Sustainable use	V	4,147.83	State	PR
Apa Cochá e Gibão	Sustainable use	V	2,855.48	State	MG
Floresta Estadual São Judas Tadeu	Sustainable use	VI	1.41	State	MG
Apa Pouso Alto	Sustainable use	V	8,394.86	State	GO
Apa do Rio Preto	Sustainable use	V	11,468.62	State	BA
Apa de São Desidério	Sustainable use	V	109.70	State	BA
Apa das Nascentes de Araguaina	Sustainable use	V	155.97	State	TO
Apa Lago de São Salvador do TO, Paranã e Palmeirópolis	Sustainable use	V	142.25	State	TO
Apa Lago de Peixe/Angical	Sustainable use	V	754.51	State	TO
Apa Lago de Palmas	Sustainable use	V	638.58	State	TO
Apa Serra do Lajeado	Sustainable use	V	1,118.82	State	TO
Apa Jalapão	Sustainable use	V	0.00	State	TO
Apa Foz do Rio Santa Tereza	Sustainable use	V	501.43	State	TO
Apa Ilha do Bananal/Cantão	Sustainable use	V	15,699.96	State	TO
Resex do Ciriáco	Sustainable use	VI	81.07	Federal	MA
Resex Chapada Limpa	Sustainable use	VI	119.73	Federal	MA
Apa Rio Cênico Rotas Monçoeiras	Sustainable use	V	154.23	State	MS

Apa Estrada Parque de Piraputanga	Sustainable use	V	101.27	State	MS
Arie do Córrego Mato Grande	Sustainable use	IV	1.32	State	DF
Apa Corumbataí, Botucatu e Tejuπά Perimetro Corumbataí	Sustainable use	V	2,749.06	State	SP
Apa Ibitinga	Sustainable use	V	690.87	State	SP
Apa Rio Batalha	Sustainable use	V	2,362.73	State	SP
Apa Serra Geral de Goiás	Sustainable use	V	441.47	State	GO
Apa da Serra Dourada	Sustainable use	V	370.40	State	GO
Apa dos Pireneus	Sustainable use	V	191.83	State	GO
Apa Serra da Jibóia	Sustainable use	V	171.61	State	GO
Arie Águas De São João	Sustainable use	IV	0.25	State	GO
Apa da Serra Das Galés e da Portaria	Sustainable use	V	319.87	State	GO
Floresta Estadual Do Araguaia	Sustainable use	VI	223.38	State	GO
Apa Do Encantado	Sustainable use	V	0.00	State	GO
Apa Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uberaba	Sustainable use	V	454.92	State	MG
Apa Da Baixada Maranhense	Sustainable use	V	17,282.97	State	MA
Apa De Upaon-Açu / Miritiba / Alto Preguiças	Sustainable use	V	15,587.00	State	MA
Apa Da Foz Do Rio Das Preguiças - Pequenos Lençóis - Região Lagunar Adjacente	Sustainable use	V	2,061.30	State	MA
Apa Dos Morros Garapenses	Sustainable use	V	2,343.19	State	MA
Apa Nascentes Do Rio Paraguai	Sustainable use	V	708.57	State	MT
Apa Corumbataí Botucatu Tejuπά Perimetro Botucatu	Sustainable use	V	2,139.00	State	SP
Apa Piracicaba Juqueri Mirim Área I	Sustainable use	V	1,142.01	State	SP
Floresta Estadual Pederneiras	Sustainable use	VI	19.41	State	SP
Floresta Estadual De Assis	Sustainable use	VI	27.09	State	SP
Rds Nascentes Geraizeiras	Sustainable use	VI	381.77	Federal	MG
Resex Da Baía Do Tubarão	Sustainable use	VI	2,239.23	Federal	MA
Area De Proteção Ambiental Barreiro Rico	Sustainable use	V	301.00	State	SP
Apa Tanquã-Rio Piracicaba	Sustainable use	V	140.38	State	SP

Arie Leopoldo Magno Coutinho	Sustainable use	IV	23.10	State	SP
Rds Veredas Do Acari	Sustainable use	VI	591.15	State	MG
Arie Cerrado Pé-De-Gigante	Sustainable use	IV	11.99	Federal	SP
Arie Buriti de Vassununga	Sustainable use	IV	1.51	Federal	SP
Apa Bacia do Rio de Janeiro	Sustainable use	V	3,527.27	State	BA
Apa Do Planalto Central	Sustainable use	V	5,034.15	Federal	DF, GO
Apa do Lago Paranoá	Sustainable use	V	160.71	State	DF
Resex Lago do Cedro	Sustainable use	VI	171.79	Federal	GO
Apa Carste de Lagoa Santa	Sustainable use	V	377.35	Federal	MG
Apa das Nascentes do Rio Vermelho	Sustainable use	V	1,739.67	Federal	BA, GO
Flona de Silvânia	Sustainable use	VI	4.86	Federal	GO
Apa de Cafuringa	Sustainable use	V	462.80	State	DF
Apa da Bacia do Rio Descoberto	Sustainable use	V	417.83	Federal	DF, GO
Apa dos Meandros do Rio Araguaia	Sustainable use	V	3,591.87	Federal	GO, MT, TO
Apa Serra da Ibiapaba	Sustainable use	V	16,241.62	Federal	CE, PI
Resex de Recanto das Araras de Terra Ronca	Sustainable use	VI	123.49	Federal	GO
Apa das Bacias Gama e Cabeça de Veado	Sustainable use	V	236.25	State	DF
Flona de Capão Bonito	Sustainable use	VI	42.37	Federal	SP

1. Protected areas acronyms: Ecological Station (Esec); National Park (Parna); Natural Monument (Mona); Biological Reserve (Rebio); Wildlife Refuge (Revis); Environmental Protection Area (Apa); Extractive Reserve (Resex); Sustainable Development Reserve (Rds); and National Forest (Flona); **2.** Brazilian states: Minas Gerais (MG), Piauí (PI), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Bahia (BA), Maranhão (MA), Tocantins (TO), Distrito Federal (DF), Mato Grosso do Sul (MS), Paraná (PR), São Paulo (SP), and Ceará (CE).

Table S2: Selected Indigenous Lands for analysis, ethnic group names, total area, and encompassed states.

Name	Ethnic group	Total Area (km ²)	State ¹
Buriti	Terena	172.00	MS
Buriti	Terena	20.90	MS
Buritinho	Guarani Kaiowá	0.10	MS
Ofayé-Xavante	Ofayé	19.38	MS
Ofayé-Xavante	Ofayé	4.84	MS
Tereza Cristina	Boróro	300.60	MT
Tadarimana	Boróro	97.85	MT
Xacriabá	Xacriabá	433.57	MG
Xacriabá	Xacriabá	464.16	MG
Xakriabá Rancharia	Xacriabá	67.98	MG
Caxixó	Kaxixó	54.11	MG
Pimentel Barbosa	Xavante	3,289.66	MT
Urubu Branco	Tapirapé	1,675.33	MT
Wedezé	Xavante	1,458.81	MT
Tapirapé/Karajá	Tapirapé,Karajá	661.66	MT
São Domingos	Karajá	57.05	MT
Parque do Araguaia	Tapirapé,Javaé,Karajá,Ava-Canoeiro	13,584.99	TO
Utaria Wyhyna/Iròdu Iràna	Javaé,Karajá	1,774.66	TO
Taego ãwa	Ava-Canoeiro	285.10	TO
Avá-Canoeiro	Ava-Canoeiro	380.00	GO
Cacique Fontoura	Karajá	323.05	MT
Inawebohona	Javaé,Karajá	3,771.14	TO
Krahó-Kanela	Krahô-Kanela	76.13	TO
Ubawawe	Xavante	522.34	MT
Areões	Xavante	2,185.15	MT
Sangradouro/Volta Grande	Xavante,Boróro	1,002.80	MT
Bakairi	Bakairí	614.05	MT
Santana	Bakairí	354.71	MT
Jaguari	Guarani Kaiowá	4.05	MS
Dourados-Amambaípeguá I	Guaraní	556.00	MS
Carretão I	Tapuia	16.66	GO
Carretão II	Tapuia	0.78	GO
Krenyê	Timbira,Krenyê	80.36	MA
Karajá de Aruanã II	Karajá	8.93	MT
Karajá de Aruanã III	Karajá	7.05	GO
Kadiwéu	Terena,Kadiwéu	5,385.36	MS
Pilad Rebuá	Terena	2.08	MS
Cachoeirinha	Terena	362.88	MS
Cachoeirinha	Terena	26.58	MS
Taunay/Ipegue	Terena	339.00	MS
Iguatemipegua I	Guarani Kaiowá	415.71	MS
Lalima	Terena,Kinikinau	30.00	MS

Limão Verde	Terena	53.77	MS
Nioaque	Terena	30.29	MS
Nossa Senhora de Fátima	Terena	0.89	MS
Rodeador	Tenete'hara	23.19	MA
Uty-Xunaty	Terena	8.97	RO
Pirineus de Souza	Nambikwára	282.12	MT
Kanela	Kanela	1,252.12	MA
Kanela Memortumré	Kanela	1,002.21	MA
Parque do Aripuanã	Cinta Larga	16,032.46	MT, RO
Enawenê-Nawê	Enawenê-Nawê	7,420.89	MT
Tirecatinga	Halotesu	1,305.75	MT
Urucu/Juruá	Tenete'hara	126.97	MA
Geralda Toco Preto	Timbira	185.06	MA
Bacurizinho	Guajá	1,340.40	MA
Bacurizinho	Guajá	824.32	MA
Cana Brava/Guajajara	Tenete'hara	1,373.30	MA
Porquinhos dos Canela-Apãnjekra	Kanela	3,010.00	MA
Lagoa Comprida	Tenete'hara	131.98	MA
Funil	Xerente	157.04	TO
Xerente	Xerente	1,675.42	TO
Apinayé	Apinayé	1,419.04	TO
Arariboia	Guajá	4,132.88	MA
Maranduba	Karajá	3.75	TO, PA
Governador	Tenete'hara, Gavião Pukobiê	416.44	MA
Kraolandia	Krahô	3,025.33	TO
Krikati	Krikati	1,447.76	MA
Morro Branco	Tenete'hara	0.49	MA
Karajá Santana do Araguaia	Karajá	14.86	PA
Las Casas	Kayapó	213.45	PA
Rancho Jacaré	Guarani Kaiowá	7.78	MS
Caarapó	Guarani Kaiowá	35.94	MS
Pirakua	Guarani Kaiowá	23.84	MS
Panambi - Lagoa Rica	Guarani Kaiowá	121.96	MS
Sucuriy	Guarani Kaiowá	5.35	MS
Dourados	Guarani Nhandeva, Terena	34.75	MS
Ñande Ru Marangatu	Guarani Kaiowá	93.17	MS
Guasuti	Guarani Kaiowá	9.59	MS
Taquaperi	Guarani Kaiowá	17.77	MS
Guaimbé	Guarani Kaiowá	7.17	MS
Aldeia Limão Verde	Guarani Kaiowá	6.68	MS
Amambai	Guarani Kaiowá	24.30	MS
Jatayvari	Guarani Kaiowá	88.00	MS
Sete Cerros	Guarani Nhandeva, Guarani Kaiowá	85.85	MS

Ypoi/Triunfo	Guarani Nhandeva	197.56	MS
Potrero Guaçu	Guarani Nhandeva	40.25	MS
Pirajuí	Guarani Nhandeva	21.18	MS
Arroio-Korá	Guarani Kaiowá	71.76	MS
Takuaraty/Yvykuarusu	Guarani Kaiowá	26.09	MS
Krenrehé	Krenák	59.74	MT
Manoki	Irántxe	2,505.40	MT
Maraiwatsede	Xavante	1,652.41	MT
Menkü	Mynky	1,463.98	MT
Menkü	Mynky	470.95	MT
Nambikwara	Nambikwára	10,119.61	MT
Figueiras	Paresí	98.59	MT
Estivadinho	Paresí	20.32	MT
Chão Preto	Xavante	127.42	MT
Parabubure	Xavante	2,244.47	MT
Marechal Rondon	Xavante	985.00	MT
Rio Formoso	Paresí	197.49	MT
Estação Parecis	Paresí	21.70	MT
Paresi	Paresí	5,635.87	MT
São Marcos	Xavante	1,884.78	MT
Ponte de Pedra	Paresí	170.00	MT
Utiariti	Paresí	4,123.04	MT
Merure	Boróro	823.01	MT
Taihantesu	Wasusu	53.62	MT
Uirapuru	Paresí	216.80	MT
Vale do Guaporé	Nambikwára	2,425.93	MT
Juininha	Paresí	705.38	MT
Jarudore	Boróro	47.06	MT
Umutina	Umutina	281.20	MT

1. Brazilian states: Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT), Minas Gerais (MG), Tocantins (TO), Goiás (GO), Maranhão (MA), Rondônia (RO), and Pará (PA).

Table S3: Land use classes from the MapBiomias (collection 8) and the weights assigned in the reclassification for the production of the cost map in the complementarity analysis, based on suitability as habitat for the target species.

Land Use Classes	Assigned Weights
Forest	1
Forest Formation	1
Savanna Formation	1
Mangrove	1
Floodable Forest	1
Wooded Sandbank Vegetation	1
Non Forest Natural Formation	1
Wetland	1
Grassland	1
Hypersaline Tidal Flat	1
Rocky Outcrop	10
Herbaceous Sandbank Vegetation	1
Other non Forest Formations	1
Farming	10
Pasture	10
Agriculture	15
Temporary Crop	15
Soybean	20
Sugar cane	20
Rice	15
Cotton	15
Other Temporary Crops	15
Perennial Crop	15
Coffee	15
Citrus	15
Palm Oil (beta)	15
Other Perennial Crops	15
Forest Plantation	15
Mosaic of uses	10
Non vegetated area	20
Beach, Dune and Sand Spot	20
Urban Area	60
Mining	80
Other non Vegetated Areas	20
Water	5
River, Lake and Ocean	5
Aquaculture	5
Not Observed	50

Table S4: Species, percentage of their potential distribution areas in protected areas in the Cerrado, defined goals, and goals maintained per species in each conservation scenario.

Especies	Dist Pot (%)	Target (%)	Held Target Cenario 1* (%)	Held Target Cenario 2** (%)	Held Target Cenario 3*** (%)
<i>Alectrurus tricolor</i>	8.85	30	31.17	32.06	30.74
<i>Alipiopsitta xanthops</i>	13.23	30	32.82	33.12	33.14
<i>Amazona vinacea</i>	15.55	30	39.08	41.91	45.21
<i>Anthus nattereri</i>	16.26	30	32.67	36.34	39.15
<i>Antilophia galeata</i>	10.76	30	31.79	32.99	32.54
<i>Arremon flavirostris</i>	11.08	30	31.03	32.32	33.82
<i>Asthenes luizae</i>	20.46	40	67.99	63.96	68.17
<i>Augastes scutatus</i>	9.96	30	39.03	37.62	39.05
<i>Buteogallus coronatus</i>	11.78	30	32.14	33.10	32.91
<i>Campylopterus calcirupicola</i>	12.99	30	40.50	40.83	40.59
<i>Celeus obrieni</i>	17.71	30	30.00	30.00	30.04
<i>Cercomacra ferdinandi</i>	21.65	30	30.00	30.03	32.27
<i>Charitospiza eucosma</i>	14.10	30	30.93	31.53	31.39
<i>Cinclodes espinhacensis</i>	31.90	50	67.92	72.50	68.23
<i>Clibanornis rectirostris</i>	8.94	30	32.19	33.33	31.64
<i>Columbina cyanopsis</i>	8.45	30	30.03	31.40	30.73
<i>Conothraupis mesoleuca</i>	12.22	30	30.37	30.00	38.61
<i>Coryphaspiza melanotis</i>	9.38	30	33.37	33.59	33.19
<i>Crypturellus zabele</i>	15.49	30	38.02	38.97	37.55
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	13.70	30	30.65	30.23	32.19
<i>Eleothreptus candicans</i>	5.59	30	30.02	30.00	30.00
<i>Embernagra longicauda</i>	8.30	40	40.00	40.17	40.78
<i>Euscarthmus rufomarginatus</i>	14.83	30	30.42	30.73	32.84
<i>Geositta poeciloptera</i>	11.42	30	30.81	31.70	33.57
<i>Guyramemua affine</i>	14.28	30	32.21	32.84	33.69
<i>Harpia harpyja</i>	13.75	30	30.63	30.02	34.00
<i>Herpsilochmus longirostris</i>	13.18	30	32.85	32.76	34.66
<i>Hypocnemis ochrogyna</i>	22.42	30	30.88	30.25	41.10
<i>Hypocnemis striata</i>	47.91	30	30.00	30.05	55.72
<i>Knipolegus franciscanus</i>	12.81	30	34.23	35.88	34.48
<i>Laterallus xenopterus</i>	9.84	30	30.24	30.01	30.03
<i>Lophornis gouldii</i>	20.20	30	35.37	35.00	38.01
<i>Melanopareia torquata</i>	13.83	30	30.10	30.05	31.85
<i>Mergus octosetaceus</i>	10.72	30	33.83	34.91	34.05
<i>Microspingus cinereus</i>	9.03	30	30.81	31.21	30.50
<i>Morphnus guianensis</i>	7.69	30	30.01	30.00	30.00

<i>Myiothlypis leucophrys</i>	8.78	30	32.75	32.28	31.24
<i>Neothraupis fasciata</i>	13.63	30	30.39	30.01	31.79
<i>Nothura minor</i>	8.75	30	30.00	30.02	32.32
<i>Nyctiprogne vielliardi</i>	13.97	30	30.30	35.00	34.63
<i>Paroaria baeri</i>	24.83	30	31.46	32.39	34.78
<i>Penelope jacucaca</i>	12.66	30	30.00	30.00	30.00
<i>Penelope ochrogaster</i>	14.05	30	31.27	32.00	34.48
<i>Phaethornis nattereri</i>	12.03	30	31.32	33.07	31.62
<i>Phyllomyias reiseri</i>	9.94	30	31.35	32.65	31.00
<i>Phylloscartes roquettei</i>	8.36	30	30.55	30.52	31.53
<i>Pipile pipile</i>	21.30	30	35.02	34.64	36.66
<i>Polystictus superciliaris</i>	12.69	40	48.45	49.37	54.81
<i>Porphyrospiza caerulescens</i>	13.97	30	30.00	30.19	32.14
<i>Pyrrhura amazonum</i>	36.62	30	31.58	30.00	40.76
<i>Pyrrhura pflimeri</i>	14.47	40	40.03	40.01	40.02
<i>Saltatricula atricollis</i>	13.87	30	30.03	30.14	31.74
<i>Scytalopus novacapitalis</i>	12.32	40	44.39	41.31	46.92
<i>Sporophila beltoni</i>	18.94	30	30.02	30.02	38.14
<i>Sporophila hypoxantha</i>	6.27	30	30.00	30.00	30.00
<i>Sporophila maximiliani</i>	9.55	30	30.33	30.19	30.00
<i>Sporophila melanogaster</i>	8.86	30	33.01	32.34	38.92
<i>Sporophila nigrorufa</i>	42.66	30	30.00	57.33	58.33
<i>Sporophila palustris</i>	8.64	30	32.15	32.66	31.34
<i>Sporophila ruficollis</i>	9.21	30	33.54	33.87	34.58
<i>Syndactyla dimidiata</i>	8.94	30	30.18	30.92	31.51
<i>Taoniscus nanus</i>	9.19	30	33.29	32.66	32.65
<i>Tigrisoma fasciatum</i>	12.18	30	30.09	30.04	31.86
<i>Tinamus tao</i>	22.02	30	30.87	32.56	37.28
<i>Uropelia campestris</i>	13.60	30	30.67	31.57	31.50

Notes: * Scenario 1: considering only areas of strict protection; **Scenario 2: considering areas of strict protection and sustainable use; and ***Scenario 3: considering all protected areas, including indigenous lands.

Segundo Capítulo

Priorização de unidades de conservação para implementação com base na representatividade de espécies de aves ameaçadas de extinção e endêmicas no Cerrado brasileiro

Resumo

Resumo do segundo capítulo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Estamos vivenciando a sexta extinção em massa no planeta, causada por destruição ambiental provocada pela ação humana. A consequente perda de biodiversidade põe em risco todas as espécies, incluindo a humana, e é uma das principais preocupações dos acordos multilaterais internacionais. O Brasil possui a maior diversidade de espécies no mundo e, dentre seus biomas, o Cerrado brasileiro é uma região de importância internacional para a conservação, sendo definido como um dos *hotspots* de biodiversidade mundiais. Apesar de sua importância biológica, apenas uma pequena porcentagem do bioma está protegida por áreas legalmente instituídas e devido à rápida conversão do uso do solo, o Cerrado é um dos biomas mais ameaçados do mundo. Para conter a perda de biodiversidade, uma das estratégias mais efetivas é a criação de áreas protegidas. Contudo, para que essas áreas funcionem conforme os seus objetivos de conservação, elas devem ser complementares e representativas, além de estarem devidamente implementadas, ou seja, dotadas do mínimo de estrutura e recursos humanos e financeiros necessários para seu funcionamento. Considerando a preocupação mundial com as espécies ameaçadas de extinção, este estudo avaliou a representatividade das 314 áreas protegidas no Cerrado brasileiro, incluindo as terras indígenas, para a proteção das 65 espécies de aves endêmicas ou ameaçadas no bioma. Além disso, diagnosticou o status de implementação de 124 unidades de conservação federais e estaduais no bioma. O diagnóstico foi realizado com a ferramenta Indimapa, desenvolvida para auditoria externa do Tribunal de Contas da União sobre a implementação e gestão de

unidades de conservação no país. Como resultado, este estudo propôs um ranqueamento das unidades de conservação prioritárias para implementação, com base na importância na representatividade das espécies-alvo. A média de representatividade das espécies nas áreas protegidas foi maior nas unidades de proteção integral do que nas demais áreas. Porém, essas unidades cobriram uma menor extensão em média das áreas de distribuição das espécies, o que pode refletir o fato delas serem menores em extensão do que as demais áreas avaliadas. As terras indígenas mostraram-se importantes para a representatividade do grupo-alvo, abrangendo uma porcentagem maior de área de distribuição potencial das espécies do que as unidades de proteção integral. A porcentagem de cobertura das áreas de distribuição das espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma dentro das unidades de conservação foi pequena, abrangendo apenas 10%. Considerando apenas as unidades de proteção integral, a cobertura foi ainda menor, apenas 4%. Além da baixa cobertura na área de distribuição potencial das espécies, a grande maioria das unidades de conservação no bioma (73%) não está devidamente implementada. A prioridade imediata deve ser a implementação adequada das 32 unidades que apresentaram maior riqueza de espécies e menor Indimapa. Espera-se que este ranqueamento alcance os tomadores de decisão sobre implementação e estratégias de conservação para o bioma.

Palavras-chave: Áreas Protegidas, Cerrado, Conservação, Espécies Ameaçadas, Unidades de Conservação, Implementação

Abstract

Abstract do capítulo dois da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

The sixth mass extinction on the planet is caused by environmental destruction due to human activity. The consequent loss of biodiversity puts all species, including humans, at risk, and is a major concern in international multilateral agreements. Brazil has the highest species diversity worldwide. Among its biomes, the Brazilian Cerrado is a region of international importance for conservation and is one of the world's biodiversity hotspots. Despite its biological significance, only a small percentage of the biome is protected by legally established areas, and owing to rapid land-use conversion, it is one of the most threatened biomes in the world. One of the most effective strategies to curb biodiversity loss is the creation of protected areas. However, for these areas to function according to their conservation objectives, they must be complementary, representative, and properly implemented, meaning they should have the minimum necessary structure and human and financial resources for their operations. Given the global concern for endangered species, this study evaluated the representativeness of 314 protected areas in the Brazilian Cerrado, including indigenous lands, for the protection of 65 endemic and threatened bird species in the biome. Additionally, it diagnosed the implementation status of 124 federal and state conservation units in the biome. The diagnosis was carried out using the Indimapa tool developed for external auditing of the implementation and management of conservation units in the country. As a result, this study proposes a ranking of priority conservation units for implementation based on the importance of species representativeness. The average species representativeness in protected areas was higher in strict protection units than in the other areas. However, these units covered a smaller average area of species distribution, which may reflect the fact that they are smaller in size than the other evaluated areas. Indigenous lands proved important for the representativeness of the target group, covering a larger percentage of the potential distribution area of species than strict protection units. The coverage percentage of the distribution areas of endemic and threatened bird species in the biome within the conservation units was small, covering only 10%. Considering only strict protection units, the coverage was

even smaller (4 %). In addition to the low coverage in the potential distribution area of species, the vast majority (73%) of conservation units in the biome have not been properly implemented. The immediate priority should be the proper implementation of the 32 units that showed the highest species richness and lowest Indimapa score. It is hoped that this ranking will reach decision-makers regarding the implementation and conservation strategies for the biome.

Key-words: Protected Areas, Brazilian Cerrado, Conservation, Threatened Species, Implementation

Introdução

Estamos enfrentando a sexta extinção em massa, causada por atuação humana (Barnosky et al 2011, Pimm et al 2014, Ceballos et al 2015) com graves consequências inclusive para a humanidade, como a redução dos serviços ecossistêmicos (Ceballos et al 2020). As taxas de extinção de espécies são excepcionalmente altas, estimadas em cerca de 1.000 vezes maior do que a taxa de extinção de fundo, essa projetada na ausência de intervenção humana (Pim et al 2014). Essa perda de biodiversidade e o risco de colapso dos ecossistemas são graves consequências da destruição ambiental causada pela atividade humana, sendo uma das principais preocupações mundiais sobre economia e meio ambiente, destacada no Relatório de Risco Global de 2024 (Fórum Econômico Mundial 2024). As principais ameaças antropogênicas diretas à biodiversidade incluem a alteração do uso da terra, a superexploração direta dos recursos naturais, a poluição, as invasões por espécies exóticas e as alterações climáticas. O avanço desses impactos causa mudanças nos *habitats* das espécies e colocam a biodiversidade em risco (IPBES 2019).

Neste contexto, prevenir a perda de espécies tornou-se uma meta global dentro de importantes acordos internacionais sobre meio ambiente e biodiversidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD 2022, ODS 2024). Para isso, é importante avaliar continuamente o status de conservação e o risco de extinção das espécies. A avaliação global do risco de extinção de espécies é feita pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) e resulta na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas. Essa lista atua como indicador do status da biodiversidade mundial e é ferramenta essencial para informar e catalisar ações para a conservação da biodiversidade (IUCN 2022). Segundo a atualização de 2024, mais de 44.000 espécies estão ameaçadas de extinção a nível global, incluindo 1.354 espécies de aves. Juntamente com a avaliação do risco de extinção de espécies a nível global, é importante avaliar as espécies a níveis nacional e regional, onde a política de conservação é frequentemente implementada. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em colaboração com o Instituto Chico Mende de Conservação de Biodiversidade (ICMBio) e o Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), avaliam o status de conservação das espécies da fauna e da flora brasileiras, seguindo metodologia proposta pela IUCN. A última Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção foi publicada em 2022 e incluiu 1.249

espécies ameaçadas de extinção, dentre elas, 257 espécies de aves (MMA 2022), 39 destas com ocorrência no Cerrado.

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do país, cobrindo aproximadamente 21% do território brasileiro (Klink & Machado 2005) e é reconhecido internacionalmente como um *hotspot* de biodiversidade, pelo elevado número de endemismos e pela elevada perda de vegetação nativa (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2004). Porém, a rápida perda de vegetação nativa, aliada à baixa cobertura da rede de áreas protegidas, torna o Cerrado um dos biomas mais ameaçados do mundo (Strassburg et al. 2017). Dentre a riqueza de aves que ocorrem no bioma, infelizmente 39 espécies estão ameaçadas de extinção (MMA 2022). Sendo as ameaças à biodiversidade no bioma principalmente a perda e degradação do hábitat pela expansão agropecuária e pela invasão de espécies exóticas (Klink & Machado 2005).

Apesar dos elevados números de extinções, os esforços globais de conservação representam uma importante contraforça à perda de espécies. Estima-se que, desde a década de 80, a taxa na qual mamíferos, aves e anfíbios teriam caminhado em direção à extinção seria 20% maior se não fossem esses esforços de conservação (Hoffmann et al. 2010). Uma das principais estratégias de conservação para reduzir a exposição da biodiversidade às ameaças e garantir sua proteção é o estabelecimento de áreas protegidas voltadas à preservação da biodiversidade, reconhecida como a estratégia mais eficaz de conservação (Possingham et al. 2006). Essa abordagem é amplamente apoiada pelas políticas nacionais de conservação (Rodrigues et al. 2004a) e é respaldada pelo principal acordo mundial sobre conservação de biodiversidade, a Convenção sobre Diversidade Biológica, que estabelece uma meta de proteger pelo menos 30% das áreas terrestres, aquáticas, marinhas e costeiras sob redes de áreas protegidas até 2030 (CBD 2022). Porém, para que as áreas protegidas sejam efetivas, é fundamental contar com competências que garantam o cumprimento satisfatório dos objetivos para os quais foram criadas. Nesse sentido, é necessário alcançar as ações estratégicas de implementação da conservação, o que inclui os processos de governança e administração (Worboys et al. 2015).

No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Brasil 2000), instituído pela Lei nº9.985, de 18 de julho de 2000, definiu critérios e normas para a criação, implementação e gestão de unidades de conservação federais, estaduais, municipais e distritais, tanto públicas quanto privadas. Os objetivos do

SNUC visam assegurar a conservação da biodiversidade brasileira e dos benefícios diretos e indiretos que ela proporciona, incluindo a proteção de espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional (Brasil 2000). Para que as unidades de conservação alcancem seus objetivos de criação, é crucial que sejam devidamente implementadas, ou seja, dotadas do mínimo de estrutura e recursos humanos e financeiros necessários para seu funcionamento. No entanto, a implementação de áreas protegidas no Brasil enfrenta sérias dificuldades, o que levou à disseminação da expressão "parques de papel" para descrever a situação em que as unidades são institucionalizadas apenas por meio de instrumento legal, sem garantir efetivamente os objetivos para os quais foram criadas. As razões para isso estão relacionadas à falta regularização fundiária, à insuficiência crônica de recursos humanos responsáveis pelas atividades na unidade, à ausência de Planos de Manejo, além de conflitos entre as populações que residem dentro dessas unidades ou em seu entorno (Schiavetti et al 2012, Dias 2018).

Além disso, para proteger adequadamente um grupo biológico específico, um sistema de áreas protegidas deve conter áreas complementares com diferentes atributos de biodiversidade (Margules & Pressey 2000) e deve ser representativo, de forma a conter amostras desses atributos em quantidades adequadas para garantir sua persistência ao longo do tempo (Pressey & Nicholls 1989). Nesse sentido a análise de lacunas é uma abordagem utilizada para avaliar a eficácia de um sistema de áreas protegidas na representação da biodiversidade local e na otimização da seleção de novas áreas protegidas (Faleiro et al. 2013, Silva et al. 2014, Ahmadi et al. 2020, Yang et al. 2020, Cahyaningsih et al. 2021, Qin et al. 2022, Silva & De Marco Jr 2023) sendo o objetivo básico dessa análise avaliar a representatividade de um grupo alvo da biodiversidade dentro de um conjunto de áreas protegidas (Jennings 2000).

Considerando a crescente preocupação global com o risco de extinção das espécies, bem como a significativa importância biológica do Cerrado Brasileiro e o papel crucial das áreas protegidas nesse bioma para a conservação de sua biodiversidade, este estudo investigou a contribuição da rede de áreas protegidas no Cerrado brasileiro para a representatividade das espécies de aves ameaçadas e endêmicas no bioma e propôs unidades de conservação prioritárias para implementação, levando em conta sua relevância na proteção desse grupo de espécies.

Métodos

Área de Estudo

Conforme descrito no primeiro capítulo, defini como área de abrangência do estudo o Cerrado, bioma composto por um mosaico natural de diversas formações vegetais (Eiten 1972, Ratter et al. 1997), localizado na região central do Brasil. Adotei o limite proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2019), que abrange uma área de 1.983.017 km², englobando dez estados brasileiros: Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO), Tocantins (TO), Maranhão (MA), Piauí (PI), Bahia (BA), Minas Gerais (MG), São Paulo (SP) e Paraná (PR).

Levantamento de Dados

Defini as espécies endêmicas no bioma com base no estudo de Silva & Bates (2002), juntamente com uma revisão recente da literatura sobre espécies de aves descritas desde então. Além das endêmicas, defini as espécies ameaçadas de extinção no bioma de acordo com a Lista Oficial da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, anexo 1 da Portaria do Ministério do Meio Ambiente nº148, de 7 de junho de 2022 (MMA 2022). Assim, considerei 65 espécies de aves ao total, sendo 41 endêmicas, 39 ameaçadas e 15 endêmicas e ameaçadas.

Selecionei os dados de ocorrência dessas espécies no banco de dados de aves do Laboratório de Planejamento para Conservação do Departamento de Zoologia da Universidade de Brasília. Além disso, consultei bancos de dados da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), Avibase, SALVE e do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO) para complementar as ocorrências no bioma. Inicialmente contabilizei 175.204 pontos de ocorrência e, após filtragens, 11.643 pontos de ocorrência para as 65 espécies.

Considerei as unidades de conservação dos grupos de proteção integral e uso sustentável, conforme definido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Brasil 2000), nos níveis federal e estadual, e terras indígenas no bioma. Das 12 categorias definidas pelo SNUC, excluí as Reservas Particulares do Patrimônio Natural da análise, pois são minimamente representativas da área de proteção do bioma. Embora as terras indígenas não se enquadrem no SNUC, reconhecendo sua importância na conservação da biodiversidade, as incluí na análise.

Obtive os dados e mapas das unidades de conservação federais e estaduais no banco de dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente (CNUC), das terras indígenas da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), e demais dados geográficos no IBGE, por meio da plataforma de dados geográficos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Terrabrasilis). Assim, selecionei inicialmente um total de 212 unidades de conservação, sendo 119 de proteção integral e 93 de uso sustentável e 118 terras indígenas, totalizando 330 áreas protegidas.

Como algumas áreas protegidas se sobrepõem parcial ou completamente a outras, tratei essas sobreposições priorizando as categorias mais restritivas, seguindo a ordem: unidades de conservação de proteção integral, unidades de conservação de uso sustentável e por último, terras indígenas. Após eliminar as sobreposições, 314 áreas protegidas permaneceram e 16 foram eliminadas. Das áreas eliminadas, a maioria (68,7%) eram Áreas de Relevante Interesse Ecológico do Distrito Federal, de pequenas extensões, que se sobrepunham a Áreas de Proteção Ambiental, de maiores extensões, ambas da categoria de uso sustentável. Além disso, quatro terras indígenas se sobrepunham a unidades de conservação, e um Parque Estadual se sobrepunha a uma unidade de proteção integral.

Relato aqui uma breve explicação sobre os grupos de proteção integral e de uso sustentável, que englobam 12 categorias de manejo do SNUC (Brasil 2000). O grupo de proteção integral tem como objetivo geral a preservação da natureza stricto sensu e as regras e normas são restritivas, permitindo apenas o uso indireto dos recursos naturais. Ou seja, aquele que não envolve consumo, coleta, danos ou destruição de tais recursos. Já o grupo de uso sustentável tem como objetivo geral compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais em suas unidades. Neste grupo, as atividades que envolvem coleta e uso dos recursos naturais alvo de cada área protegida são permitidas, desde que praticadas de forma a garantir a perenidade dos recursos naturais renováveis e dos processos ecológicos (Brasil 200).

As categorias previstas no SNUC estão em consonância com as categorias adotadas pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), possibilitando que o sistema brasileiro esteja alinhado aos padrões e normas internacionais. O sistema IUCN agrupa as áreas protegidas em seis categorias distintas, de acordo com as suas características e com os objetivos de gestão

determinados para cada uma delas. As unidades de conservação de proteção integral são equivalentes às categorias I a III da IUCN e as de uso sustentável, às categorias IV a VI. As categorias do grupo proteção integral equivalentes à categoria Ia da IUCN (reserva natural estrita) são a Estação Ecológica (Esec) e a Reserva Biológica (Rebio). As categorias Parque Nacional (Parna), Parque Estadual (PE), Parque Municipal (PNM) e Parque Distrital equivalem à categoria II da IUCN (parque nacional). As categorias Monumento Natural (Mona) e Refúgio da Vida Silvestre (Revis) equivalem à categoria III da IUCN (monumento natural). As categorias de uso sustentável equivalentes à categoria IUCN IV (área de manejo de espécies ou de *habitat*) são a Área de Relevante Interesse Ecológico (Arie) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). A categoria Área de Proteção Ambiental equivale à categoria V da IUCN (paisagem terrestre ou marinha protegida). Por fim, as categorias Floresta Nacional (Flona), Floresta Estadual (FE), Floresta Municipal (FM), Reserva Extrativista (Resex), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva de Fauna (Refau) equivalem à categoria VI da IUCN (área protegida com o uso sustentável de recursos naturais) (Dudley 2008).

Modelos de Distribuição

Conforme especificado no capítulo 1 desta dissertação, utilizei o programa R (R Core Team 2022) para todas as análises estatísticas e espaciais no estudo. Inicialmente, baixei as variáveis bioclimáticas do WorldClim (Fick & Hijmans 2017), com uma resolução espacial de 30 segundos de arco (equivalente a 1x1 km) e segui os procedimentos descritos por Silva et al. (2018) e Delgado-Jaramillo et al. (2020) para selecionar as variáveis bioclimáticas. Utilizei os pontos de ocorrência de espécies para interseccionar com as 19 variáveis bioclimáticas, visando reduzir os efeitos de colinearidade entre as variáveis na análise. Para isso, criei uma matriz de correlação de Pearson entre as variáveis para cada subconjunto de variáveis bioclimáticas: temperatura (Bio1 a Bio11) e precipitação (Bio12 a Bio19), escolhendo uma variável que apresentasse valores ≥ 0.7 . Assim, utilizei onze variáveis preditivas no estudo: Bio2, Bio4, Bio6, Bio8 e Bio10 relacionadas à temperatura; Bio12, Bio13, Bio14, Bio18 e Bio19 relacionadas à precipitação; e elevação.

Construí os mapas de distribuição potencial das espécies com base na adequabilidade ambiental, utilizando modelagem de nicho por meio do algoritmo de Máxima Entropia (MaxEnt), uma técnica fundamentada em aprendizado de máquina

capaz de prever a distribuição potencial de espécies com dados somente de presença e variáveis ambientais (Phillips e Dudík 2008). Para isso, usei o pacote ENMeval (Kass et al. 2021) e dividi os pontos de ocorrência de cada espécie em 80% para treino e 20% para teste dos modelos. Como MaxEnt não depende de ausências verdadeiras em seu processo de ajuste (Elith et al. 2010), selecionei aleatoriamente 5.000 pontos de pseudo-ausência (ou pontos de fundo) dentro da área de estudo, com uso do pacote dismo (Hijmans et al. 2023), para representar locais onde as espécies poderiam estar ausentes e assim gerar a matriz de confusão necessária para a avaliação do modelo.

Avaliei a qualidade dos modelos utilizando o Índice de Boyce, um índice adequado para a avaliar modelos com dados somente de presença (Hirzel et al. 2006), disponível no pacote ecospat (Broennimann et al. 2022). Dos 65 modelos gerados, cinco foram rejeitados de acordo com o índice e como alternativa para estes, foi criado um buffer de 50 km ao redor de cada ponto de ocorrência das espécies para gerar novos modelos.

Por fim, converti os mapas das espécies para mapas binários, reclassificando os valores de adequabilidade ambiental para zero e um, utilizando o limiar do décimo percentil (Silva et al. 2018, Stiels et al. 2011). Esse limiar considera 90% dos valores de adequabilidade, pressupondo que 10% podem conter algum erro após a conversão. Além disso, apliquei um buffer de 300km para diminuir possíveis superestimções da área de distribuição potencial (Gomes et al. 2018, Velazco et al. 2020).

Análise de Lacunas

Realizei a análise de lacunas com todas as unidades de conservação e terras indígenas selecionadas. Inicialmente, cada área protegida recebeu um número de identificação (id), sendo o das unidades de conservação de proteção integral de um a 119, das de uso sustentável de 120 a 212 e das terras indígenas, de 213 a 330. A análise consistiu no cruzamento dos mapas de distribuição potencial das espécies com os mapas das áreas protegidas. Para isso, utilizei os pacotes terra (Hijmans 2024), sf (Pebesma 2018), e dplyr (Wickham et al. 2023). Criei um stack com os mapas de distribuição potencial das espécies dentro do limite do bioma, reprojetei os rasters das áreas protegidas para a projeção geodésica dos mapas das espécies (WSG84) e

intersectei os mapas, resultando em uma matriz de ocorrências das espécies por área protegida considerada.

A partir da elaboração da matriz, ranqueei as áreas protegidas em termos do número de espécies alvo com ocorrência potencial em seus limites, que chamo aqui de representatividade. A representatividade das áreas protegidas com relação à riqueza de espécies foi dividida em cinco faixas de representação: I) de uma a 10 espécies; II) de 11 a 20 espécies; III) de 21 a 30 espécies; IV) de 31 a 40 espécies e V) de 41 a 50 espécies.

Avaliação de Implementação

Conduzi o diagnóstico do grau de implementação e gestão das unidades de conservação por meio de coleta de dados primários e utilização de dados oficiais disponíveis. A coleta de dados primários incluiu a aplicação de questionário aos gestores das unidades e o levantamento de informações oficiais junto aos órgãos ambientais federais e estaduais. Para a aplicação do questionário, inicialmente realizei uma pesquisa para obter os contatos mais atualizados possível de e-mail dos gestores das unidades. Esses dados foram obtidos através do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) e informações disponibilizadas pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente dos estados abrangidos pelo bioma.

Cabe esclarecer que a avaliação da efetividade de gestão de unidades de conservação federais no Brasil é feita institucionalmente pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) por meio de duas ferramentas de monitoramento que se complementam. A primeira é a Avaliação Rápida e Priorização da Gestão de Unidades de Conservação- RAPPAM, realizada em ciclos de 5 anos desde 2005 e a segunda é o Sistema de Análise e Monitoramento de Gestão (SAMGE), realizada anualmente desde 2016 (SAMGE 2024). Essas ferramentas podem ser utilizadas também para avaliação das unidades de conservação estaduais. Em ambas as ferramentas, a aplicação e consolidação dos resultados é feita pelas próprias instituições responsáveis pela gestão das unidades. O "Índice de Implementação e Gestão de Áreas Protegidas - Indimapa", é uma ferramenta proposta por uma instituição de controle externo no Brasil, o Tribunal de Contas da União (TCU), para avaliar e monitorar a implementação e gestão de áreas protegidas em auditorias coordenadas, com fácil aplicação e comunicação dos resultados à sociedade civil, facilitando a visão de panoramas regionais (TCU 2023). Essa

metodologia se inspirou no RAPPAM e no Management Effectiveness Tracking Tool (METT), outra ferramenta de monitoramento e efetividade de Gestão, desenvolvida originalmente em 2002 pela Aliança Banco Mundial/World Wide Fund for Nature (WWF).

A metodologia adotada neste trabalho para o diagnóstico das unidades de conservação seguiu as diretrizes propostas pelo Indimapa, por se tratar de uma ferramenta de rápida e fácil aplicação. O Indimapa é uma ferramenta de aplicação internacional, designada à avaliação e monitoramento da implementação e gestão de áreas protegidas, que já foi aplicada em 2.500 áreas protegidas latino-americanas e europeias, em 17 países. Segundo este índice, implementação e gestão de uma área protegida são processos contínuos que incluem o provimento dos insumos necessários à gestão dessa área, a articulação com atores que compartilham a sua governança e o funcionamento dos processos orientados aos objetivos da área, definidos em seu plano de manejo (TCU 2023). O plano de manejo é o principal instrumento de planejamento, gestão e ordenamento territorial das unidades, previsto no SNUC. Trata-se de um documento técnico que orienta as ações para que estas cumpram com seus objetivos, incluindo o estabelecimento do zoneamento ambiental e das normas para o uso da área e manejo dos recursos naturais (Brasil 2000).

O Indimapa avalia aspectos de gestão das áreas protegidas, por meio de treze indicadores, que refletem a situação da implementação da área e os critérios avaliados consideram o que determina o SNUC. Os indicadores avaliam especificamente a existência e execução do plano de manejo; disponibilização de recursos humanos, financeiros e estrutura física e insumos para o funcionamento adequado da área; situação fundiária da área; os mecanismos de proteção, pesquisa e monitoramento de biodiversidade; a existência e atuação de conselho gestor; a existência e relação com populações tradicionais e locais; a possibilidade e existência de uso público; articulação entre entidades na governança e a possibilidade e existência de mecanismos de concessões na área protegida. Cada indicador tem um nome, que é uma letra associada ao aspecto que ele avalia, conforme **Tabela 1**.

Cada indicador é avaliado por três componentes, que detalham os requisitos de implementação e gestão que levam ao pleno atendimento do aspecto avaliado pelo respectivo indicador. Tais componentes pontuam em uma escala de 0 a 3, onde um ponto é atribuído por requisito alcançado, sendo que o não atendimento de nenhum dos componentes corresponde à implementação nula do indicador e, quanto mais

componentes atendidos, melhor será a implementação do aspecto avaliado pelo indicador, até a situação de pleno atendimento. Para a avaliação de cada componente, só são possíveis dois valores: um (requisito atendido) ou zero (não atendido), sendo, portanto, um critério binário. Assim, somados os valores dos seus três componentes, o indicador apresenta valores inteiros entre 0 e 3.

Tabela 1: Aspectos avaliados no diagnóstico de implementação das unidades de conservação e indicadores correspondentes

Aspectos avaliados	Indicadores
Plano de manejo	G
Recursos humanos	H
Recursos financeiros	S
Estrutura administrativa	E
Consolidação territorial	T
Proteção	F
Pesquisa	P
Monitoramento da biodiversidade	B
Gestão participativa (conselho gestor)	C
Manejo pelas comunidades tradicionais e/ou locais	M
Uso público	U
Articulação na área protegida	L
Concessões	N

O cálculo do índice de implementação da área protegida é o resultado da média aritmética de todos os indicadores aplicados. Os valores do índice são classificados em faixas de implementação, sendo de baixa implementação valores entre 0 e 1; de média implementação valores de 1 a 2 e de alta implementação valores de 2 a 3. Cabe ressaltar que nem todos os indicadores são aplicáveis a todas as unidades de conservação avaliadas. Em alguns casos, devido a peculiaridades de algumas categorias de áreas, ou à realidade local de algumas áreas, alguns indicadores podem ser considerados como não aplicáveis. Indicadores não aplicáveis não fazem parte de avaliação, sendo excluídos do cálculo do índice. A compilação dos resultados foi feita seguindo a metodologia do Indimapa, incluindo a resolução de conflitos de informação (TCU 2023).

Em 2013 o Tribunal de Contas da União aplicou o índice em unidades de conservação da Amazônia e, posteriormente, em 2019, em unidades de diversos

biomas, incluindo as unidades federais do Cerrado. Para as 51 unidades federais consideradas no estudo, os dados do Indimapa 2019 foram utilizados. No caso das 160 unidades estaduais, enviei uma solicitação de informação ao TCU sobre a aplicação do índice por meio dos Tribunais de Contas dos Estados. Entretanto, nenhum dos estados abrangidos pelo bioma aplicou o índice. Dessas 160 unidades, excluí onze da análise devido à sobreposição com áreas de proteção mais estrita, como explicado anteriormente. Assim, enviei o questionário aos gestores das 149 unidades de conservação estaduais consideradas no estudo.

Para isso, passei o modelo de questionário sugerido pelo Indimapa para formulário eletrônico do google forms e enviei por e-mail aos gestores. Primeiramente enviei um único e-mail a todos os gestores com prazo de uma semana para respostas. Posteriormente, enviei e-mails separadamente para cada grupo de gestores por estado, com prazos adicionais para respostas. Após essa etapa, como uma estratégia mais direcionada, enviei e-mails individuais aos gestores que ainda não haviam respondido, com prazos adicionais. O prazo total para respostas foi de 45 dias, com envio programado de e-mails duas vezes na semana, com intuito de lembrar quanto ao prazo de respostas.

O Instituto Estadual de Florestas- IEF, órgão ambiental do governo do estado de Minas Gerais e a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística- Semil, órgão ambiental do governo do estado de São Paulo, solicitaram autorização de pesquisa para que o formulário fosse aplicado aos gestores de unidades de conservação sob suas jurisdições. Assim, segui todos os procedimentos solicitados, incluindo o cadastro de pesquisador, envio do termo de compromisso, da carta de apresentação e do projeto de pesquisa para a obtenção das autorizações.

Ranqueamento para Implementação

Considerando a análise das lacunas e a avaliação do grau de implementação realizadas, elaborei uma lista com o ranqueamento das unidades de conservação propostas como prioritárias para implementação. Essa classificação levou em consideração tanto a importância dessas áreas na proteção das espécies de aves ameaçadas e endêmicas no bioma quanto o status de implementação. Avaliei a importância de cada área pela sua representatividade em termos do número de espécies com ocorrência potencial em seus limites.

Para isso, ordenei os valores de riqueza em cada unidade de conservação do maior para o menor e os valores do índice de implementação do menor para o maior. Dessa forma, identifiquei as áreas com maior representatividade e menor índice de implementação. Em seguida, calculei as médias aritméticas dos valores totais de riqueza e implementação, e dividi as unidades de conservação em quadrantes de prioridades. O primeiro quadrante incluiu aquelas unidades com riqueza de espécies acima da média e índice de implementação abaixo da média. O segundo quadrante abrangeu as unidades com riqueza de espécies acima da média, mas com valores de índice de implementação também acima da média. O terceiro quadrante englobou as unidades com tanto riqueza quanto índice de implementação abaixo da média. Por fim, o quarto quadrante compreendeu as unidades com riqueza de espécies abaixo da média e índice de implementação acima da média.

Vale ressaltar que não inclui no ranqueamento aquelas unidades de conservação que não tiveram a implementação avaliada, por falta de resposta ao questionário aplicado.

Resultados

Modelos de Distribuição

As 65 espécies alvo do estudo, suas categorias de ameaça e/ou endemismo, valores do índice de Boyce dos modelos e as áreas de distribuição potencial (total, no Cerrado e em área protegidas dentro do bioma) calculadas segundo os modelos de distribuição potencial gerados, podem ser observados na **Tabela 1** do primeiro capítulo desta dissertação.

Conforme descrito no primeiro capítulo, produzi 65 mapas de distribuição potencial para as espécies, que representaram a adequabilidade ambiental em uma escala numérica contínua de zero a um, como resultado dos modelos de distribuição. Além disso, 65 mapas de distribuição potencial binários com valores categóricos de zero ou um, onde zero indica ausência e um potencial presença das espécies. Sendo assim, produzi ao total 130 mapas, consistindo em dois mapas de distribuição potencial para cada espécie, considerando o limite do Brasil. A **Figura 1** representa os mapas de adequabilidade ambiental produzidos para as seis primeiras espécies, como exemplo, segundo a ordem alfabética: *Alectrurus tricolor* (Vieillot, 1816), *Alipiopsitta xanthops* (Spix, 1824), *Amazona vinacea* (Kuhl, 1820), *Anthus nattereri* (Sclater, 1878), *Antilophia galeata* (Lichtenstein, 1823) e *Arremon flavirostris*

(Swainson, 1838). Já a **Figura 2** representa os mapas binários produzidos para as mesmas seis espécies.

Adequabilidade Ambiental

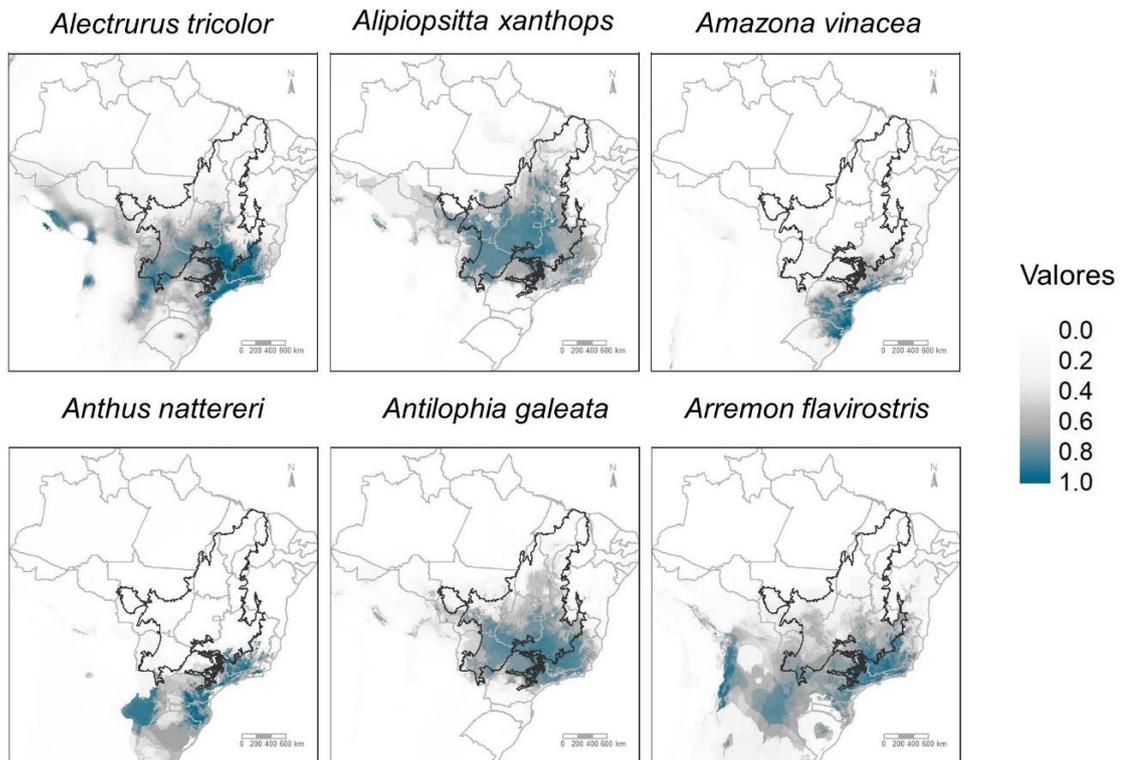


Figura 1: Mapas de adequabilidade ambiental para as seis primeiras espécies do *stack*, com valores contínuos de zero a um, Linha cinza: extensão dos estados brasileiros, Linha preta: extensão do bioma no Brasil.

Binários

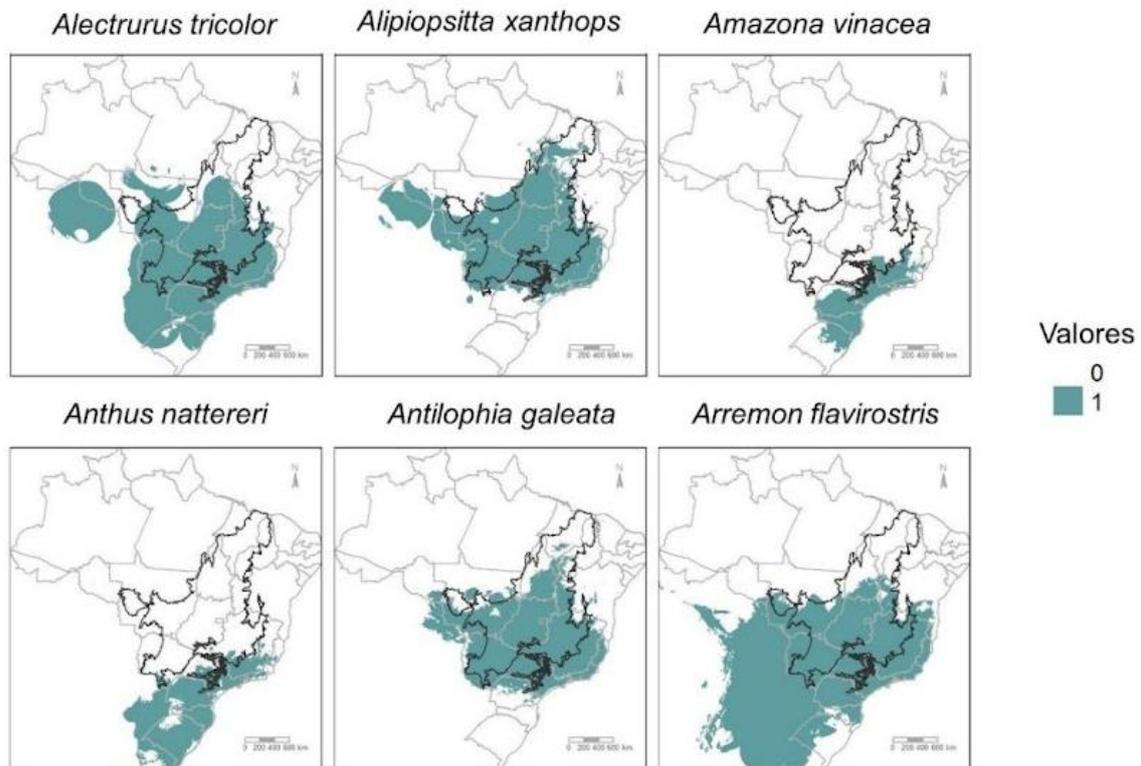


Figura 2: Mapas binários, após conversão, para as seis primeiras espécies do *stack*, com valores categóricos de zero ou um, com zero indicando ausência e um, potencial presença, Linha cinza: extensão dos estados brasileiros, Linha preta: extensão do bioma no Brasil.

Áreas Protegidas

Em termos de quantidade, a atual rede de áreas protegidas no Cerrado brasileiro abrange 330 áreas em níveis federal e estadual, consistindo em 212 unidades de conservação, o que representa 64,24% do total, e 118 terras indígenas, representando 35,75% do total. Das unidades de conservação, 119 estão sob proteção integral, abrangendo 56,13% do total, enquanto 93 são destinadas ao uso sustentável, representando 43,86% do total. Em termos de gestão, 160 unidades estão sob administração estadual, compreendendo 75,47% do total (sendo 97 de proteção integral e 63 de uso sustentável), enquanto 52 estão sob administração federal, representando 24,52% do total (com 22 de proteção integral e 30 de uso sustentável). Dentro da esfera estadual, as unidades do grupo de proteção integral são a maioria (60,62%), com as de uso sustentável representando 39,37% do total.

Já na esfera federal, a maioria das unidades de conservação são do grupo de uso sustentável (57,69%), com as de proteção integral representando 42,30% do total.

Após eliminar as sobreposições, foram consideradas no estudo 200 unidades de conservação, sendo 118 de proteção integral e 82 de uso sustentável e 114 terras indígenas, conforme ilustrado na **Figura 3**.

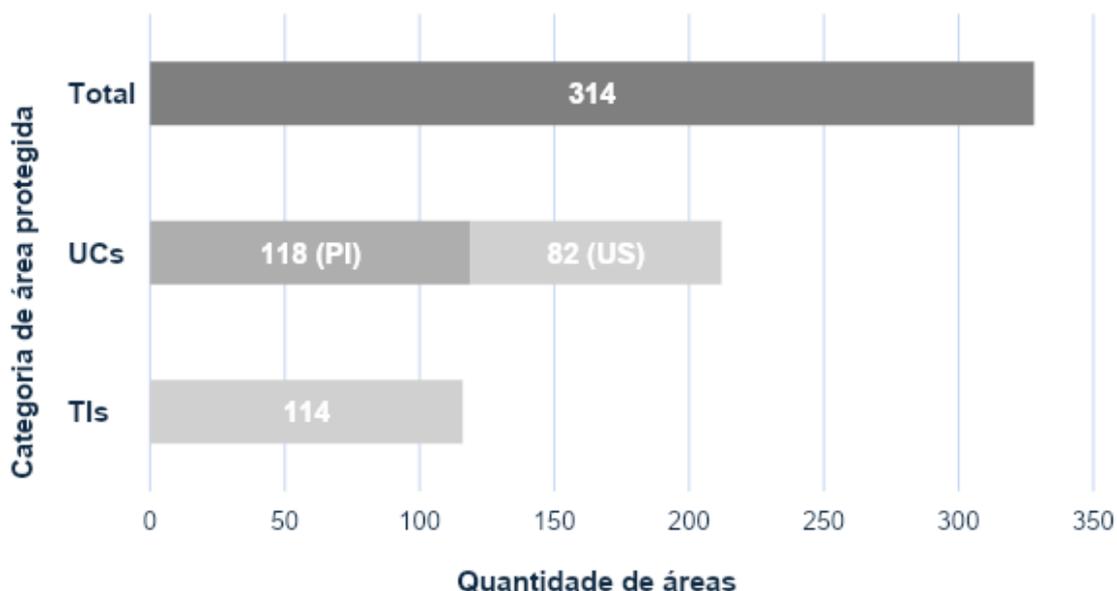


Figura 3: Quantidade de áreas protegidas consideradas no estudo, em cada categoria.

Como descrito no capítulo um desta dissertação, em quantidade de área, essas áreas cobrem aproximadamente 292.919,58 km² do bioma, representando cerca de 14,77% de sua área total. Porém, considerando apenas as unidades de conservação, esse percentual cai para 9,69%, e apenas para áreas de proteção integral reduz para apenas 3,45%.

Após subtrair as áreas sobrepostas, o valor de cobertura do bioma foi de 275.152,68 km², aproximadamente 13,88%. Desse total, 182.484,36 km² correspondem a unidades de conservação (9,20%), sendo 68.471,82 km² sob proteção integral (3,45%) e 114.012,54 km² de uso sustentável (5,75%), enquanto 92.668,32 km² são terras indígenas (4,67%). Todos os valores, antes e depois da subtração das sobreposições, podem ser observados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Soma do tamanho de todas as áreas protegidas e percentual relativo à área total do bioma por categoria.

Áreas Protegidas	Área ¹ (km ²)	Área ² (km ²)	Bioma ³ (%)	Bioma ⁴ (%)
Proteção Integral	68.471,82	68.471,82	3,45	3,45
Uso Sustentável	123.591,96	123.591,96	6,23	5,75
Terras Indígenas	100.855,80	100.855,80	5,09	4,67
Total	292.919,58	292.919,58	14,77	13,88

Notas: **1.** Soma antes da subtração de sobreposição; **2.** Soma após subtração de sobreposição; **3.** Porcentagem antes da subtração de sobreposição e **4.** Porcentagem após subtração de sobreposição.

A relação das 200 unidades de conservação selecionadas no estudo, o grupo segundo o SNUC, a categoria segundo a IUCN, o número de identificação na análise (id), a área total de cada uma, assim como a esfera administrativa e os estados abrangidos, podem ser observados na **Tabela S1 (Anexo 1)**. Já a relação das 114 terras indígenas selecionadas no estudo, o grupo étnico correspondente, o número de identificação na análise (id), assim como a área total de cada uma e os estados abrangidos, podem ser observados na **Tabela S2 (Anexo 2)**.

A **Figura 4** ilustra a localização das áreas protegidas selecionadas, incluindo as unidades de conservação e as terras indígenas, no limite do bioma.

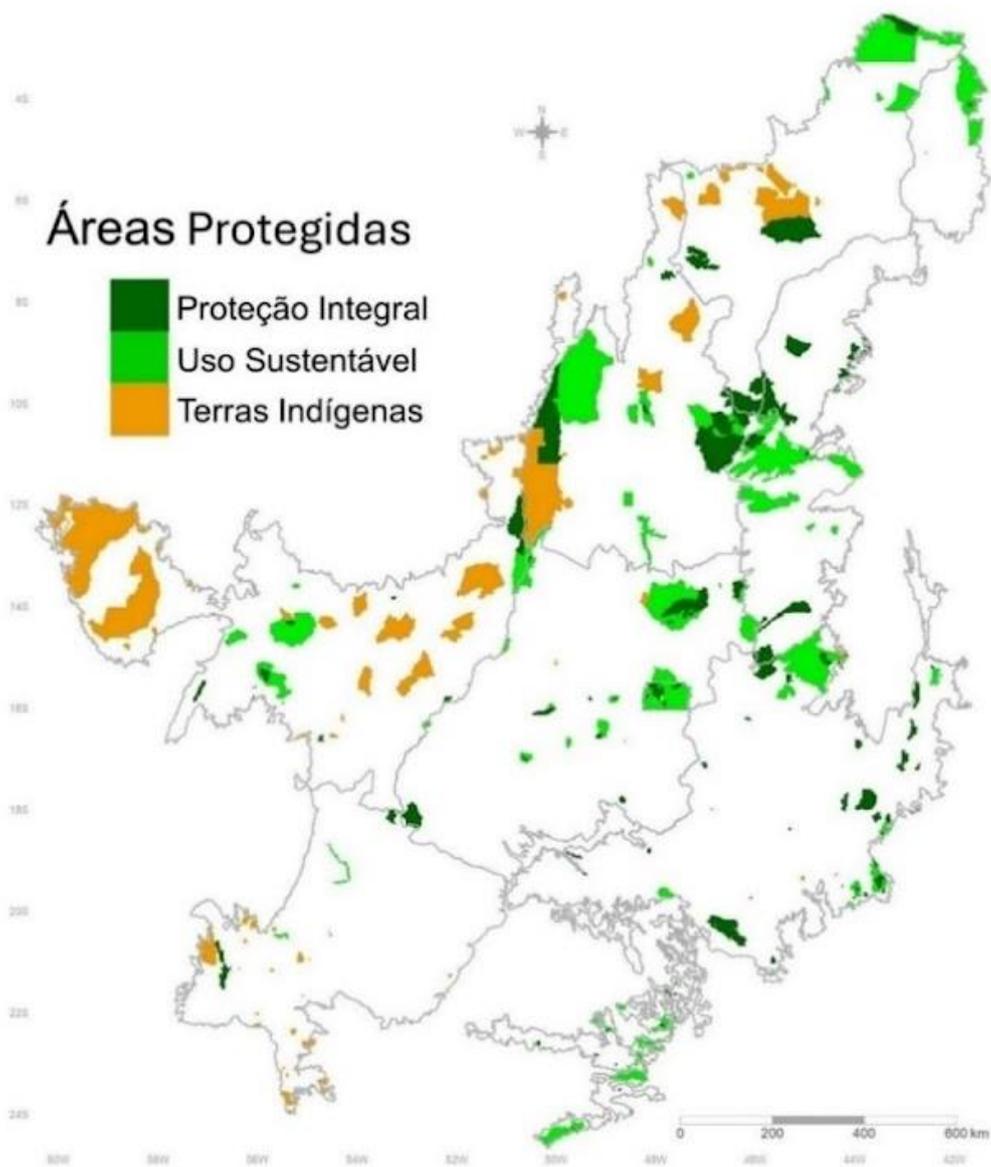


Figura 4: Mapa das áreas protegidas consideradas no estudo. Linha cinza: extensão dos estados brasileiros no bioma.

Análise de Lacunas

Todas as 314 áreas protegidas consideradas protegeram em alguma extensão as áreas de distribuição potencial de espécies alvo, variando entre 7 e 49 espécies cada área. A menor representatividade foi da Reserva Extrativista da Baía do Tubarão, uma unidade de conservação de uso sustentável da esfera federal no estado do Maranhão. Esta unidade representou apenas sete espécies alvo. Em seguida, representando apenas 8 espécies cada uma, tivemos o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, de proteção integral da esfera federal; a Área de Proteção Ambiental

(APA) Delta do Parnaíba, de uso sustentável e federal; a Resex do Delta do Parnaíba, de uso sustentável e federal e a APA da Foz do Rio das Preguiças- Pequenos Lençóis- Região Lagunas Adjacente, de uso sustentável e estadual, todas estas na região nordeste.

A área protegida no Cerrado com maior representação das espécies foi a Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, uma unidade de conservação da esfera federal, da categoria de uso sustentável, localizada no estado de Minas Gerais, com ocorrência potencial de 49 espécies alvo. Em seguida, o Parque Nacional da Serra do Cipó, o Parque Estadual do Limoeiro e a Área de Proteção Ambiental Estadual Águas Vertentes, todas no estado de Minas Gerais, sendo a primeira federal, da categoria de proteção integral e as demais estaduais, sendo o Parque de proteção integral e a APA de uso sustentável, todas com ocorrência potencial de 48 espécies alvo.

A média de representatividade das espécies pelas áreas protegidas foi de 32 espécies. A média da representatividade das unidades e conservação nos dois grupos foi de 34 espécies. O grupo de proteção integral protegeu em média, 36 espécies, enquanto o de uso sustentável protegeu em média 32 espécies e, por fim, as terras indígenas protegeram uma média de 27 espécies (**Figura 5**).

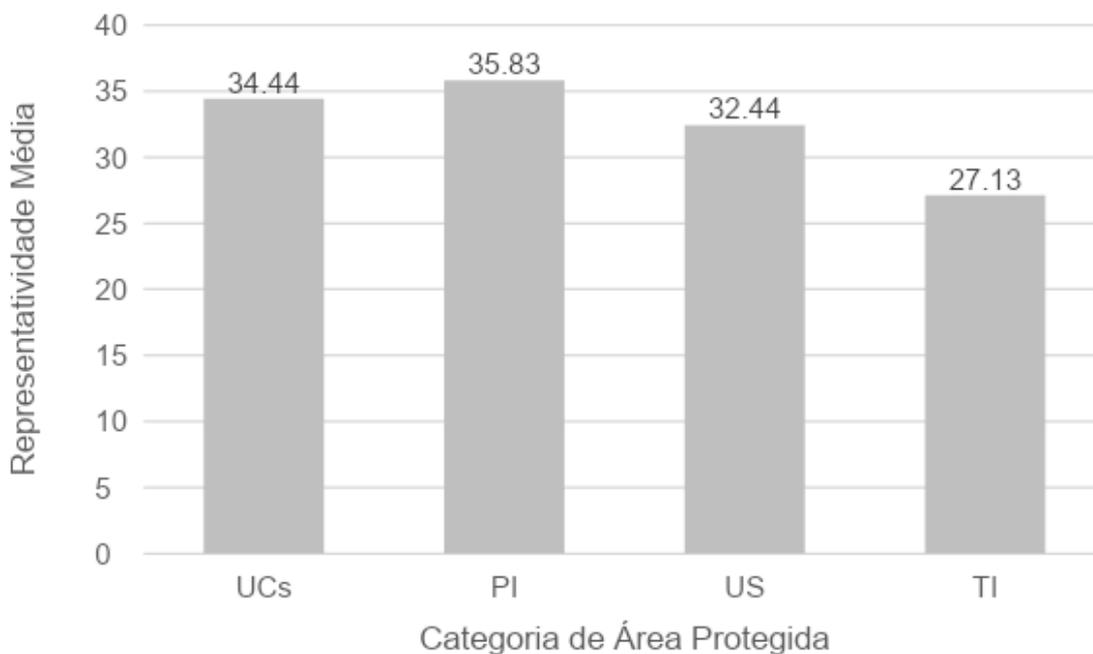


Figura 5: Valores da média de espécies protegidas por cada categoria de área protegida e grupos de unidades de conservação.

A representatividade de espécies nas áreas protegidas por faixas de representação, pode ser observada na **Figura 6**. A maioria das áreas protegidas, 156

áreas (49,68%), representaram de 31 a 40 espécies alvo (faixa IV de representação), 80 áreas (25,47%) representaram de 21 a 30 espécies (faixa III), 41 áreas (13,05%) de 41 a 50 espécies (faixa V), 30 áreas (9,55%) de 11 a 20 espécies (faixa II) e por fim, 7 áreas (2,22%) de 1 a 10 espécies (faixa I).

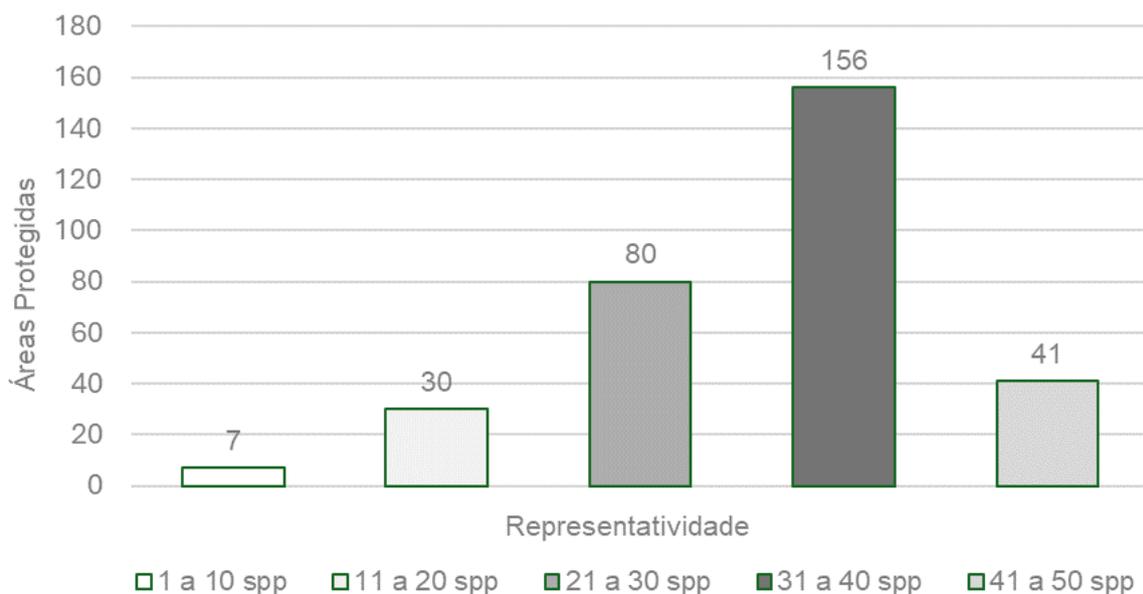


Figura 6: Quantidade de áreas protegidas por faixa de representação de espécies.

A **Tabela 3** mostra as 41 áreas protegidas classificadas na maior de representatividade (faixa V), representando uma riqueza de 41 a 50 espécies do grupo alvo.

Tabela 3: Relação das 41 áreas protegidas que mais representaram as espécies alvo do estudo em ordem decrescente de representatividade, suas categorias e a representatividade total, em termos de número de espécies com ocorrência potencial em seus limites e percentual.

Área Protegida ¹	Categoria ou Grupo ²	Representatividade	
		Total	Percentual ³
Apa Morro da Pedreira	US	49	75,38
Parna da Serra do Cipó	PI	48	73,85
PE Mata do Limoeiro	PI	48	73,85
Apa Estadual das Águas Vertentes	US	48	73,85
PE do Rio Preto	PI	47	72,31
PE da Serra Negra	PI	47	72,31
Parna da Serra da Canastra	PI	46	70,77
PE do Biribiri	PI	46	70,77

Mona Estadual Várzea do Lajeado e Serra do Raio	PI	46	70,77
PE do Pico do Itambé	PI	45	69,23
PE Serra do Intendente	PI	45	69,23
Parna das Sempre Vivas	PI	45	69,23
PE Serra da Boa Esperança	PI	45	69,23
PE dos Campos Altos	PI	44	67,69
PE Serra do Cabral	PI	44	67,69
PE do Pau Furado	PI	44	67,69
PE de Paracatu	PI	44	67,69
Revis Estadual de Macaúbas	PI	44	67,69
Apa Vargem das Flores	US	44	67,69
Apa Carste de Lagoa Santa	US	44	67,69
Esec Mata dos Ausentes	PI	43	66,15
PE da Lapa Grande	PI	43	66,15
PE de Botumirim	PI	43	66,15
Apa Bacia do Rio Pandeiros	US	43	66,15
Apa Pouso Alto	US	43	66,15
Apa Corumbataí, Botucatu e Tejupá Perímetro Corumbataí	US	43	66,15
Apa Piracicaba Juqueri Mirim Área I	US	43	66,15
Parna da Chapada dos Veadeiros	PI	42	64,62
PE do Sumidouro	PI	42	64,62
Parna Grande Sertão Veredas	PI	42	64,62
Apa Cochá e Gibão	US	42	64,62
Floresta Estadual São Judas Tadeu	US	42	64,62
PE Serra das Araras	PI	41	63,08
PE Dom Osório Stoffel	PI	41	63,08
Mona Estadual Peter Lund	PI	41	63,08
PE Serra do Sobrado	PI	41	63,08
PE Serra Verde	PI	41	63,08
Apa da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba	US	41	63,08
Apa do Planalto Central	US	41	63,08
Apa das Nascentes do Rio Vermelho	US	41	63,08
TI Tereza Cristina	Terra Indígena	41	63,08

Notas: 1. Siglas segundo SNUC: Estação Ecológica (Esec); Parque Nacional (Parna); Parque Estadual (PE); Monumento Natural (Mona); Refúgio de Vida Silvestre (Revis) e Área de

Proteção Ambiental (Apa). TI=Terra Indígena; 2. PI= Proteção Integral e US= Uso Sustentável; 3. Percentual sobre o total de 65 espécies alvo do estudo.

Quanto à porcentagem das áreas de distribuição potencial das espécies calculada dentro do limite do bioma, a média da proteção considerando todas as áreas protegidas foi de 14,5%. Deste total, as unidades de conservação protegem, em média, 10,37% e as terras indígenas 4,13%. Do valor de proteção das unidades de conservação, 6,66% é a média de proteção das áreas de distribuição potencial das espécies pelas unidades de uso sustentável e 3,71% pelas unidades de proteção integral. Os valores percentuais de proteção por cada categoria de área por espécie podem ser observados na **Tabela 4**.

Tabela 4: Espécies alvo do estudo e quantidade percentual da área de distribuição potencial de cada espécie no bioma por categoria de área protegida considerada.

Espécies	Status ¹	Endemismo	Área de Distribuição ² (%)			
			PI	US	TI	Total
<i>Alectrurus tricolor</i>	VU	x	2,52	4,83	1,50	8.85
<i>Alipiopsitta xanthops</i>	NT	x	3,70	5,55	3,98	13.23
<i>Amazona vinacea</i>	VU		5,24	10,31	0,00	15.55
<i>Anthus nattereri</i>	VU		4,76	9,74	1,76	16.26
<i>Antilophia galeata</i>	LC	x	3,21	5,14	2,41	10.76
<i>Arremon flavirostris</i>	LC	x	2,37	5,17	3,54	11.08
<i>Asthenes luizae</i>	NT	x	13,35	7,11	0,00	20.46
<i>Augastes scutatus</i>	LC	x	4,67	5,07	0,23	9.96
<i>Buteogallus coronatus</i>	EN		3,22	5,29	3,27	11.78
<i>Campylopterus calcirupicola</i>	EN		4,44	8,31	0,26	12.99
<i>Celeus obrieni</i>	VU	x	4,47	8,08	5,16	17.71
<i>Cercomacra ferdinandi</i>	NT	x	4,01	6,38	11,27	21.65
<i>Charitospiza eucosma</i>	NT	x	3,78	6,49	3,84	14.10
<i>Cinclodes espinhacensis</i>	EN	x	9,95	21,95	0,00	31.90
<i>Clibanornis rectirostris</i>	LC	x	2,83	4,91	1,20	8.94
<i>Columbina cyanopis</i>	CR	x	2,00	4,29	2,17	8.45
<i>Conothraupis mesoleuca</i>	EN	x	0,77	2,16	9,30	12.22
<i>Coryphasiza melanotis</i>	VU	x	2,52	4,59	2,27	9.38
<i>Crypturellus zabele</i>	VU		6,53	8,81	0,16	15.49
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	LC	x	3,34	5,25	5,11	13.70
<i>Eleothreptus candicans</i>	VU	x	1,27	2,55	1,78	5.59
<i>Embernagra longicauda</i>	LC	x	5,23	3,06	0,00	8.30
<i>Euscarthmus rufomarginatus</i>	NT	x	3,55	6,25	5,04	14.83
<i>Geositta poeciloptera</i>	VU	x	2,38	4,90	4,15	11.42
<i>Guyramemua affine</i>	NT	x	3,99	5,70	4,59	14.28
<i>Harpia harpyja</i>	VU		2,25	4,02	7,48	13.75
<i>Herpsilochmus longirostris</i>	LC	x	3,46	5,02	4,70	13.18
<i>Hypocnemis ochrogyna</i>	VU		0,50	3,80	18,12	22.42

<i>Hypocnemis striata</i>	VU		3,90	14,71	29,30	47.91
<i>Knipolegus franciscanus</i>	LC	x	4,60	7,77	0,44	12.81
<i>Laterallus xenopterus</i>	VU	x	3,50	5,75	0,59	9.84
<i>Lophornis gouldii</i>	VU		3,95	7,19	9,05	20.20
<i>Melanopareia torquata</i>	LC	x	3,34	5,48	5,02	13.83
<i>Mergus octosetaceus</i>	CR		4,06	6,13	0,54	10.72
<i>Microspingus cinereus</i>	LC	x	2,11	4,36	2,57	9.03
<i>Morphnus guianensis</i>	VU		1,60	2,48	3,61	7.69
<i>Myiothlypis leucophrys</i>	LC	x	2,74	4,76	1,29	8.78
<i>Neothraupis fasciata</i>	NT	x	3,35	5,21	5,07	13.63
<i>Nothura minor</i>	EN		2,44	3,93	2,39	8.75
<i>Nyctiprogne vielliardi</i>	EN	x	4,33	9,35	0,32	13.97
<i>Paroaria baeri</i>	LC	x	3,99	8,90	11,94	24.83
<i>Penelope jacucaca</i>	VU		4,46	6,45	1,75	12.66
<i>Penelope ochrogaster</i>	VU	x	3,38	5,44	5,23	14.05
<i>Phaethornis nattereri</i>	LC	x	1,04	4,12	6,88	12.03
<i>Phyllomyias reiseri</i>	LC	x	3,91	5,43	0,60	9.94
<i>Phylloscartes roquettei</i>	EN	x	2,69	5,47	0,21	8.36
<i>Pipile pipile</i>	VU		4,78	6,09	10,44	21.30
<i>Polystictus superciliaris</i>	LC	x	8,11	4,58	0,00	12.69
<i>Porphyrospiza caeruleascens</i>	NT	x	3,42	5,96	4,59	13.97
<i>Pyrrhura amazonum</i>	VU		5,97	11,72	18,93	36.62
<i>Pyrrhura pfrimeri</i>	EN	x	3,46	8,01	3,01	14.47
<i>Saltatricula atris</i>	LC	x	3,31	5,67	4,90	13.87
<i>Scytalopus novacapitalis</i>	EN		6,02	6,30	0,00	12.32
<i>Sporophila beltoni</i>	VU		6,63	12,30	0,00	18.94
<i>Sporophila hypoxantha</i>	VU		2,18	3,32	0,77	6.27
<i>Sporophila maximiliani</i>	CR		2,83	4,09	2,63	9.55
<i>Sporophila melanogaster</i>	VU		3,71	5,08	0,07	8.86
<i>Sporophila nigrorufa</i>	VU	x	1,36	38,76	2,54	42.66
<i>Sporophila palustris</i>	VU		3,17	3,20	2,26	8.64
<i>Sporophila ruficollis</i>	VU		2,58	2,26	4,37	9.21
<i>Syndactyla dimidiata</i>	LC	x	2,05	4,39	2,51	8.94
<i>Taoniscus nanus</i>	EN	x	2,98	5,97	0,25	9.19
<i>Tigrisoma fasciatum</i>	VU		2,02	4,59	5,57	12.18
<i>Tinamus tao</i>	VU		3,53	6,82	11,67	22.02
<i>Uropelia campestris</i>	LC	x	3,46	6,28	3,87	13.60

Notas: 1. Status segundo IUCN/MMA (VU= vulnerável, EN= em perigo, CR= criticamente ameaçada e LC= pouco preocupante); 2. Percentual da área de distribuição potencial das espécies no Cerrado por categoria de área protegida: PI= Proteção Integral; US=Uso Sustentável e TI= Terra Indígena.

Diagnóstico de Implementação

Com relação ao questionário aplicado aos gestores das unidades de conservação estaduais, obtive respostas de 75 das 149 unidades de conservação. Desconsidere a resposta da Estação Ecológica de Itirapina (SP), pois o (a) gestor (a) enviou o

formulário incompleto, inviabilizando o cálculo do índice, e a resposta do Parque Estadual de Porto Ferreira (SP), que foi eliminado por sobreposição a outra unidade de conservação. Assim, calculei o indimapa de 73 unidades, representando 49% do total. Destas, 36 são do estado de Minas Gerais, 17 de São Paulo, oito do Tocantins, cinco do Maranhão, três do Paraná, três de Goiás e uma do Mato Grosso. Três das quatro unidades do Tocantins que não responderam o formulário, não possuíam gestor (a), segundo informado por servidora do Instituto Natureza do Tocantins (Naturantins). Não obtive nenhuma resposta do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) da Bahia, do Instituto Brasília Ambiental (Ibram) do Distrito Federal, nem do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (Imasul). Os estados do Paraná e do Maranhão foram os únicos que responderam sobre todas as unidades de conservação solicitadas sob suas jurisdições. A **Figura 7** a seguir, ilustra a quantidade de unidades de conservação consideradas no estudo e a quantidade de respostas obtidas ao formulário, por estado brasileiro.

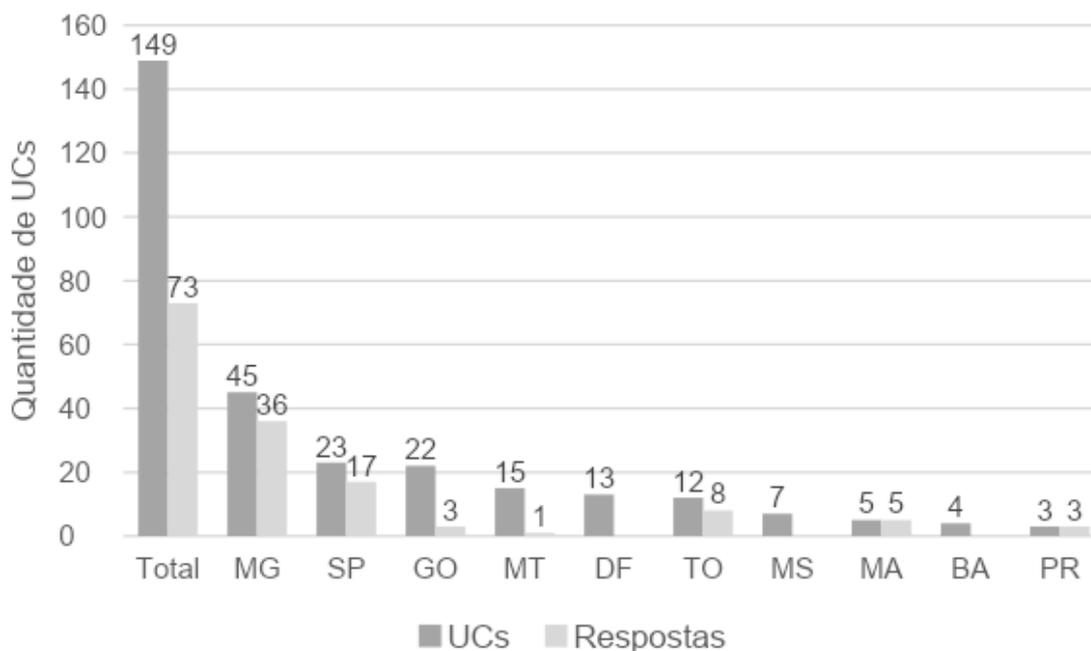


Figura 7: Total de unidades de conservação estaduais consideradas no estudo e total de respostas obtidas ao questionário, por estado brasileiro.

Somando as respostas das unidades estaduais obtidas por este estudo às respostas obtidas pela aplicação do Indimapa pelo TCU às 51 unidades federais de interesse do estudo em 2019, tivemos um total de 124 unidades de conservação

diagnosticadas quanto ao índice de implementação e gestão. Isso representa 62% do total de 200 unidades de conservação (**Figura 8**).

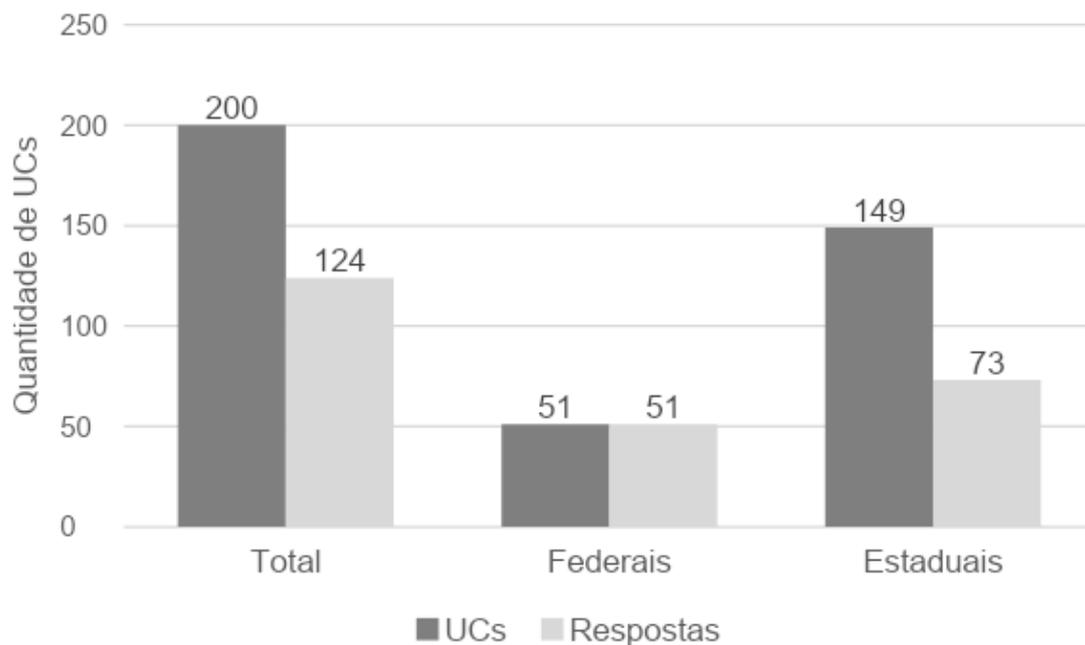


Figura 8: Total de unidades de conservação estaduais e federais diagnosticadas quanto à implementação e gestão.

Os indicadores segundo a média de valores na ordem decrescente foram: F (proteção), H (recursos humanos), E (estrutura administrativa), T (consolidação territorial), P (pesquisa), C (gestão participativa/conselho gestor), S (recursos financeiros), G (plano de manejo), U (uso público), B (monitoramento de biodiversidade), M (manejo pelas comunidades tradicionais e/ou locais), N (concessões) e L (articulação na área protegida). A **Figura 9** ilustra os valores médios de cada indicador calculado para as unidades de conservação avaliadas.

A **Tabela S3 (Anexo 3)** apresenta todos os valores calculados de cada indicador para cada unidade de conservação avaliada, identificada pelo id. Os ids de cada unidade de conservação podem ser observados na **Tabela S1 (Anexo 1)**.

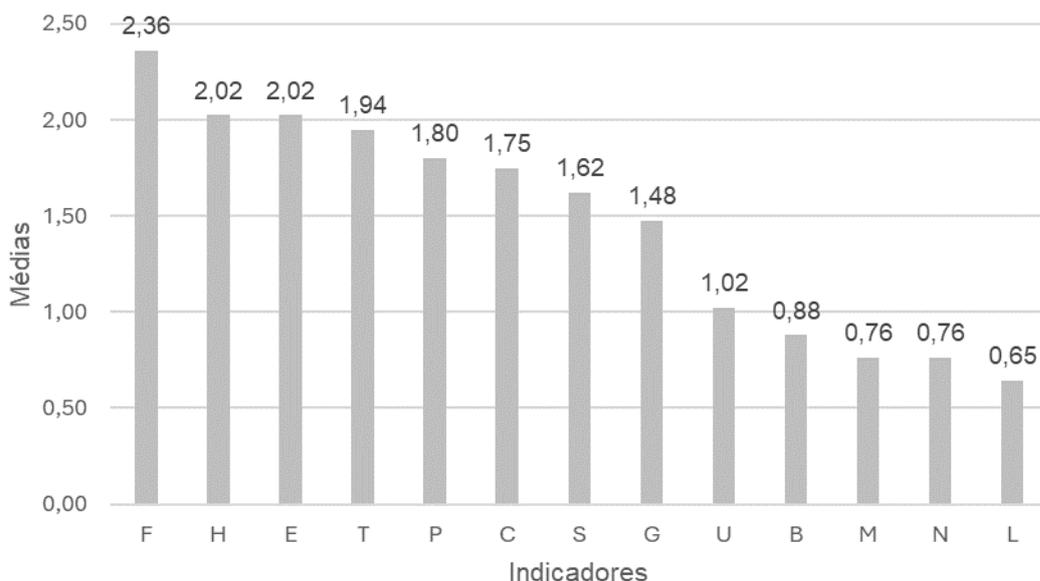


Figura 9: Gráfico ilustrando os valores das médias de cada indicador calculado para as 124 unidades de conservação avaliadas.

Com relação às faixas de implementação, das 124 unidades de conservação diagnosticadas, 67 (representando 54%) tiveram implementação média, ou seja, valor do índice de implementação e gestão entre um e dois (conforme metodologia descrita do Indimapa na sessão anterior). Destas, quanto ao grupo de proteção, 38 (57%) são de proteção integral e 29 (43%) de uso sustentável. Já quanto à esfera, 37 são estaduais (55%) e 30 federais (45%). Já 34 unidades das 124 avaliadas (27%) tiveram implementação alta, com valores do índice entre 2 e 3. Destas, quanto ao grupo de proteção, 26 são de proteção integral (76,5%) e oito de uso sustentável (23,5%). Já quanto à esfera, 21 são estaduais (62%) e 13 federais (38%). Por fim, 23 unidades (18,5%) tiveram baixa implementação, com valores do índice entre zero e um. Destas, quanto ao grupo de proteção, 11 (48%) são de proteção integral e 12 (52%) de uso sustentável. Já quanto à esfera, 15 são estaduais (65%) e oito federais (35%)

A média dos valores do índice de implementação foi de 1,54. A média de representatividade de espécies nas unidades de conservação foi de 34 espécies. Todas as unidades de conservação avaliadas, a categoria segundo o SNUC, a esfera administrativa, o valor calculado do indimapa, a faixa de representação e o valor de representatividade, podem ser observados na **Tabela S4 (Anexo 4)**.

Ranqueamento para Implementação

A distribuição das unidades de conservação avaliadas em quadrantes de prioridades, está ilustrada na **Figura 10**. Os números em cada quadrante são relativos ao número de identificação (id) de cada unidade na análise. No primeiro quadrante estão as unidades que possuem maior riqueza de espécies, com riqueza acima da média (34 espécies) e estão menos implementadas, com valores de índice abaixo da média (1, 54). No segundo quadrante estão as unidades que possuem maior riqueza de espécies, porém, também possuem valores de índice de implementação acima da média. No terceiro quadrante estão aquelas unidades que possuem tanto riqueza quanto índice de implementação abaixo da média. Por fim, no quarto quadrante estão as unidades com riqueza de espécies abaixo da média e índice de implementação acima da média.

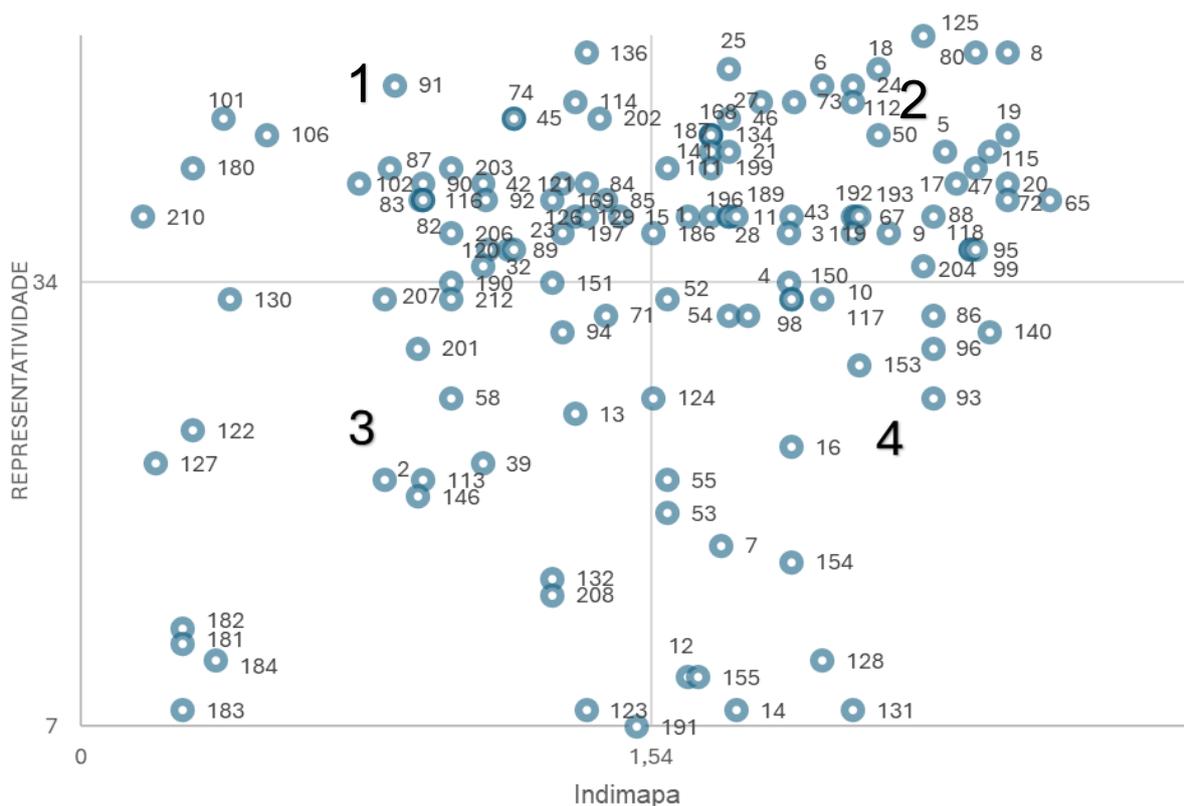


Figura 10: Unidades de conservação divididas em quadrantes, conforme a importância na representatividade das espécies alvo e *status* de implementação.

Assim, sugeri a priorização das 32 unidades selecionadas no primeiro quadrante, com base na importância biológica quanto à representação de espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma e considerando as baixas taxas de implementação. Destas, quanto ao grupo, 20 são de proteção integral (representando

62,5% do total) e 12 são de uso sustentável (representando 37,5%). Quanto à esfera, 21 são estaduais (representando 66% do total) e 11 são federais (34% do total). A **Tabela 5** lista as 32 unidades de conservação sugeridas como prioritárias para implementação.

Tabela 5: Lista das unidades de conservação prioritárias para implementação, com nome completo, número de identificação na análise (id) categoria segundo o SNUC e esfera administrativa.

Id	Nome	Grupo	Esfera
15	Rebio da Contagem	Proteção Integral	Federal
23	PE de Grão Mogol	Proteção Integral	Estadual
32	PE Águas do Cuiabá	Proteção Integral	Estadual
42	PE Furnas do Bom Jesus	Proteção Integral	Estadual
45	PE dos Campos Altos	Proteção Integral	Estadual
74	PE do Pau Furado	Proteção Integral	Estadual
82	Mona Estadual Vargem da Pedra	Proteção Integral	Estadual
83	Mona Estadual Experiência da Jaguará	Proteção Integral	Estadual
84	Mona Estadual Lapa Vermelha	Proteção Integral	Estadual
85	PE da Cerca Grande	Proteção Integral	Estadual
87	PE Serra do Sobrado	Proteção Integral	Estadual
89	Revis Estadual dos Rios Tijucu e do Prata	Proteção Integral	Estadual
90	Mona Estadual de Santo Antônio	Proteção Integral	Estadual
91	Mona Estadual Várzea do Lajeado e Serra Do Raio	Proteção Integral	Estadual
92	Mona Estadual Várzea da Lapa	Proteção Integral	Estadual
101	Revis Estadual de Macaúbas	Proteção Integral	Estadual
102	Revis Estadual Serra das Aroeiras	Proteção Integral	Estadual
106	PE de Botumirim	Proteção Integral	Estadual

114	PE Serra da Boa Esperança	Proteção Integral	Estadual
116	Revis das Veredas do Oeste Baiano	Proteção Integral	Federal
120	Apa Cavernas do Peruaçu	Uso Sustentável	Federal
121	Apa da Bacia do Rio São Bartolomeu	Uso Sustentável	Federal
126	Flona de Brasília	Uso Sustentável	Federal
129	Flona de Paraopeba	Uso Sustentável	Federal
136	Apa Estadual das Águas Vertentes	Uso Sustentável	Estadual
169	Apa Estadual Ibitinga	Uso Sustentável	Estadual
180	Apa Estadual da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba	Uso Sustentável	Estadual
197	Arie Buriti De Vassununga	Uso Sustentável	Federal
202	Apa Carste de Lagoa Santa	Uso Sustentável	Federal
203	Apa das Nascentes do Rio Vermelho	Uso Sustentável	Federal
206	Apa da Bacia do Rio Descoberto	Uso Sustentável	Federal
210	Resex de Recanto das Araras de Terra Ronca	Uso Sustentável	Federal

Notas: 1. Siglas segundo SNUC: Reserva Biológica (Rebio); Parque Estadual (PE); Monumento Natural (Mona); Refúgio de Vida Silvestre (Revis); Floresta Nacional (Flona); Áreas de Relevante Interesse Ecológico (Arie); Área de Proteção Ambiental (Apa) e Reserva Extrativista (Resex).

Discussão

A cobertura do Cerrado brasileiro pela rede de unidades de conservação é pequena, abrangendo apenas 9,2% da área total do bioma. Esse valor é semelhante ao encontrado anteriormente na literatura. França et al. (2015) relataram que apenas 8,3% da área do bioma está protegida por unidades de conservação, enquanto Resende et al. (2021) encontraram apenas 7,1% e Polizel et al. (2021) registraram 7,5%. Além disso, a proporção de área destinada ao uso sustentável, grupo mais permissivo que compatibiliza o uso humano com a conservação da biodiversidade, é atualmente maior (5,75%) do que a proporção destinada à proteção integral (apenas 3,45%), grupo mais restritivo que prioriza a preservação da biodiversidade. A cobertura das áreas de distribuição das espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma pelas unidades de conservação também foi bastante limitada, alcançando apenas 10% e considerando apenas as unidades de proteção integral, essa cobertura foi ainda menor, representando apenas 4% do total. Essa baixa abrangência pode comprometer a conservação dessas espécies. Como

uma medida de conservação direcionada a este problema, no primeiro capítulo, foi apresentada uma proposta de complementação à atual rede de áreas protegidas no bioma, visando aumentar a representatividade desse grupo de espécies.

Além da discrepância na cobertura percentual do bioma entre os grupos de unidades de conservação, com o grupo de uso sustentável apresentando uma cobertura maior do que o de proteção integral, os resultados também revelaram uma disparidade na quantidade de áreas em cada grupo. Notavelmente, há leve predominância (56%) de unidades de proteção integral em comparação com as unidades de uso sustentável (44%). Isso sugere que, embora mais numerosas, as unidades de proteção integral tendem a ser menores em extensão. Essa constatação pode explicar por que essas unidades abrangem uma porcentagem inferior das áreas de distribuição potencial das espécies no bioma em comparação com as unidades de uso sustentável.

Apesar de protegerem, em média, porcentagem menor das áreas de distribuição das espécies, os resultados indicaram que as unidades de proteção integral abrigam, em média, maior riqueza do grupo-alvo do que as demais áreas protegidas. Considerando a média de representatividade das espécies, ambos os grupos de unidades de conservação protegem, em média, mais espécies (34 espécies) do que as terras indígenas (27 espécies). No entanto, entre os grupos de unidades de conservação, as unidades de proteção integral protegem, em média, mais espécies (36 espécies) do que as unidades de uso sustentável (32 espécies). Esse resultado pode ser uma evidência de que este grupo de unidades de manejo mais restritivo protege melhor a biodiversidade do que o grupo de manejo mais permissivo.

Estudos prévios investigaram a eficácia das áreas protegidas na conservação da biodiversidade no Cerrado brasileiro, especialmente na capacidade de evitar a perda de vegetação nativa, e constataram que as taxas de desmatamento são menores dentro de áreas protegidas do que fora delas (Carranza et al. 2013, França et al. 2015, Paiva et al. 2015, Brum et al. 2019, Colman et al. 2022), tornando essas áreas cruciais na prevenção de futuras perdas de vegetação nativa (Brum et al. 2019, Colman et al. 2024) e manutenção de serviços ecossistêmicos (Resende et al. 2019). Além disso, relataram que diferentes categorias de áreas protegidas no bioma possuem diferentes capacidades de proteção contra o desmatamento, com as unidades de conservação de proteção integral sendo mais eficazes na proteção da

biodiversidade do que as de uso sustentável (Carranza et al., 2013, França et al. 2015, Paiva et al. 2015, Brum et al. 2019).

Além das análises sobre a perda de vegetação nativa, alguns estudos se concentraram em avaliar o papel das áreas protegidas no bioma para a conservação de grupos de espécies. Por exemplo, Oliveira et al. (2019) descobriram que a riqueza estimada de espécies de anuros em um grupo de unidades de conservação do Cerrado foi significativamente maior dentro destas áreas do que fora delas, demonstrando que essas áreas alcançaram o papel de conservação deste grupo. Já Ferreira et al. (2020) investigaram a eficácia das unidades de conservação quanto à manutenção de espécies de mamíferos terrestres no mosaico Sertão Veredas-Peruaçu, ao norte do estado de Minas Gerais. Os resultados revelaram que, de modo geral, as unidades de proteção integral sustentam maior riqueza de mamíferos do que áreas similares de uso sustentável, com um efeito particularmente forte sobre espécies ameaçadas de extinção.

Esta diferença na eficiência de conservação entre os grupos de unidade de conservação pode estar relacionada ao fato de que o regime de gestão das unidades de conservação de uso sustentável permite atividades econômicas e uso dos recursos dentro dessas áreas. Desde meados da década de 1990 no Brasil, as áreas de uso sustentável superaram as áreas de proteção integral em número e extensão (Vieira et al. 2019). Porém, dependendo principalmente dessas áreas de uso sustentável, o Brasil pode comprometer a integridade de seus ecossistemas naturais (Brum et al. 2019). Segundo França et al. (2015), as taxas de desmatamento em unidades de uso sustentável foram semelhantes às observadas fora dessas unidades, sugerindo que elas não são eficazes na garantia da proteção da biodiversidade.

Com relação à esfera de gestão, a maioria expressiva das unidades de conservação avaliadas (75,47%) está sob administração estadual, enquanto apenas 24,52% do total está sob administração federal, o que está em linha com os achados de França et al. (2015), os quais indicam uma predominância de unidades de conservação estaduais na região. Esse resultado levanta preocupações quanto à eficácia da proteção dessas unidades, uma vez que França et al. (2015) identificaram diferenças significativas no desmatamento dentro das áreas protegidas com base na jurisdição, sendo o desmatamento consideravelmente menor em áreas federais em comparação com as estaduais.

Também constatei que a grande maioria das unidades de conservação no bioma (73% das unidades de conservação avaliadas) não está satisfatoriamente implementada, com apenas 27% das unidades avaliadas apresentando alto nível de implementação. Esse resultado é preocupante, pois a implementação adequada é fundamental para que uma unidade de conservação garanta o cumprimento dos objetivos para os quais foi criada (Worboys et al. 2015).

Bellón et al. (2020) investigaram a dinâmica das mudanças no uso e cobertura do solo em unidades de conservação de proteção integral e suas zonas de amortecimento no Cerrado brasileiro entre 2001 e 2016. Eles observaram conversões significativas de vegetação natural para terras agrícolas, homogeneização das florestas naturais e expansão da agricultura nessas áreas, indicando a degradação geral dos *habitats* na rede avaliada, mostrando a baixa eficácia de conservação dessas áreas. Associando esses resultados com os obtidos neste estudo, é possível que a ineficiência dos mecanismos de gestão e proteção, que deveriam garantir o pleno funcionamento dessas áreas como zonas de proteção da biodiversidade, esteja relacionada à falta de implementação satisfatória das unidades.

O estabelecimento de áreas protegidas é uma estratégia internacionalmente reconhecida para a conservação de biodiversidade, sendo um dos objetivos do principal acordo internacional multilateral sobre biodiversidade, a Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica (CDB 2022). Após a prescrição das metas de Aichi, que tinham o limite temporal de até 2020, foi estabelecido o Quadro Global de Biodiversidade *Kunming-Montreal*, com novas metas globais para até 2030. A preocupação com o estabelecimento de áreas protegidas é expressa na meta 3, que determina que pelo menos 30% das áreas terrestres, de água doce, marinhas e costeiras, especialmente aquelas de importância particular para, estejam efetivamente conservadas e geridas por meio de sistemas de áreas protegidas ecologicamente representativas, bem conectadas e equitativamente governadas (CDB 2022). É importante observar que essa meta ressalta a necessidade de uma gestão efetiva das áreas protegidas. Ou seja, é imprescindível implementar essas áreas de maneira abrangente, incluindo todos os aspectos fundamentais para uma boa gestão, aliada a uma governança eficaz, que viabilize o alcance dos objetivos previstos para cada uma das áreas protegidas.

Conforme os resultados do exercício de priorização, sugiro que a implementação das unidades avaliadas siga a ordem de prioridade dos quadrantes

um, dois, três e quatro, respectivamente (Figura 10). A prioridade imediata deve ser a devida implementação e gestão das 32 unidades de conservação incluídas no primeiro quadrante devido à sua importância na representatividade de espécies de aves ameaçadas e endêmicas no bioma e à sua constatada baixa implementação. A maioria das unidades prioritárias identificadas pertence ao grupo de proteção integral (62,5%), enquanto 37,5% são de uso sustentável.

Quanto aos indicadores avaliados, o indicador de monitoramento da biodiversidade (B) é um dos mais diretamente relacionados com a proteção da biodiversidade nas unidades, incluindo espécies ameaçadas como as do grupo alvo do estudo. Conforme os resultados, este foi um dos indicadores com menor média nas unidades de avaliadas. A importância do monitoramento contínuo e de longo prazo em área protegida para a conservação da biodiversidade é ressaltada por Marques et al. (2022), ao avaliar os resultados de 22 anos do Programa Brasileiro de Pesquisa Ecológica de Longo Prazo (PELD) na Área de Proteção Ambiental das Bacias do Gama e Cabeça de Veado, no distrito federal.

Por fim, as Terras Indígenas se mostraram importantes na representatividade do grupo de espécies de aves endêmicas e ameaçadas no bioma. Apesar de apresentarem média de representatividade das espécies menor do que nas unidades de conservação, elas ainda representaram, em média, 27 espécies, o que equivale a 41,5% da riqueza de espécies. É relevante destacar que a Terra Indígena Tereza Cristina, localizada no estado do Mato Grosso, está entre as áreas protegidas que mais contribuíram para a representação desse grupo (faixa V de representação), representando 41 espécies. Em termos de porcentagem da área total do bioma, as terras indígenas cobriram 4,7% da extensão, uma área maior do que a de proteção integral, que alcançou apenas 3,45%. Quanto à porcentagem da área de distribuição potencial das espécies, as terras indígenas protegeram em média 4%, um valor superior ao do grupo de proteção integral.

Estudos anteriores reconheceram a importância na proteção de biodiversidade pelas terras indígenas no bioma (Carranza et al. 2013, Paiva et al. 2015, Resende et al. 2021, Colman et al. 2024). Carranza et al. (2013) destacou inclusive que as terras indígenas, por estarem localizadas em áreas com níveis de ameaça mais altos do que as unidades de conservação, proporcionou maior eficácia absoluta em termos de conversão evitada no bioma. Assim, apesar de não serem áreas com o objetivo primário de conservação, sendo esse o direito dos povos originários à terra e proteção

de seu patrimônio cultural, elas são cruciais na prevenção de futuras perdas de vegetação nativa no bioma (Colman et al. 2024).

Conclusão

A cobertura atual do Cerrado brasileiro pelas unidades de conservação é insuficiente, representando apenas uma pequena porcentagem da área total do bioma. Esta realidade é agravada pela disparidade na distribuição entre os grupos de unidades de conservação. Notavelmente, as unidades de proteção integral cobrem área menor do bioma em comparação com as unidades de uso sustentável. No entanto, evidências sugerem que as unidades de proteção integral são mais eficazes na conservação da biodiversidade do que as de uso sustentável. Essa discrepância destaca a necessidade de uma revisão nas estratégias de distribuição e priorização das unidades de conservação para garantir uma proteção mais eficaz do bioma.

A baixa implementação das unidades de conservação no bioma é um problema preocupante, pois compromete sua eficácia na consecução dos objetivos de conservação. A falta de implementação satisfatória pode estar diretamente relacionada à ineficiência dos mecanismos de gestão e proteção, destacando a necessidade urgente de melhorar os processos de gestão e governança das áreas protegidas. Assim, é fundamental priorizar a implementação das unidades de conservação, especialmente aquelas com baixa implementação e alta importância na representatividade de espécies de interesse. Neste sentido, o Indimapa demonstrou ser ferramenta valiosa para avaliar a implementação e gestão de um grupo regional de unidades de conservação. Sua fácil aplicabilidade e o potencial para ser utilizado em futuros trabalhos de conservação da biodiversidade em diferentes regiões o tornam uma ferramenta promissora para apoiar iniciativas de gestão e conservação em larga escala.

O resultado mais significativo deste estudo foi a elaboração de uma lista de unidades de conservação prioritárias para implementação, levando em conta a importância na representatividade das espécies de aves ameaçadas e endêmicas no Cerrado brasileiro. Esta lista tem uma aplicabilidade imediata nas políticas públicas de conservação da biodiversidade, fornecendo orientações claras para os tomadores de decisão sobre onde alocar recursos para a implementação de áreas protegidas e outras estratégias de conservação voltadas para o bioma. Espera-se que este trabalho

seja considerado e incorporado nas futuras decisões de gestão e planejamento, visando a proteção efetiva da biodiversidade no Cerrado brasileiro.

Por fim, as terras indígenas emergiram como importantes para a conservação da biodiversidade no bioma, apesar de não serem áreas com o objetivo primário de conservação. Sua contribuição para a proteção de espécies ameaçadas e endêmicas destaca a importância de reconhecer e apoiar os direitos dos povos originários à terra e à proteção de seu patrimônio cultural.

Em suma, a implementação eficaz das áreas protegidas, juntamente com uma melhor governança e apoio às terras indígenas, são fundamentais para garantir a conservação da biodiversidade no bioma do Cerrado brasileiro. Essas medidas são essenciais para atender aos objetivos de conservação estabelecidos internacionalmente e proteger os ecossistemas naturais valiosos do bioma.

Conclusões Gerais da Dissertação

A análise de lacunas realizada demonstrou que a cobertura do Cerrado brasileiro pela atual rede de áreas protegidas é insuficiente para garantir adequada representatividade das espécies ameaçadas e endêmicas no bioma, cobrindo adequadamente apenas 4,6% dessas espécies. Para melhorar esta representatividade, proponho a integração colaborativa entre os setores da sociedade para incorporar as áreas adicionais complementares propostas, de preferência no primeiro cenário, que considera apenas as unidades de conservação de proteção estrita, para as quais existem evidências de melhor proteção da biodiversidade do que as demais categorias de áreas protegidas. A seleção dessas áreas complementares incorporou áreas mais compactas, com mais remanescentes de vegetação nativa e mais próximas das áreas protegidas existentes, o que potencialmente facilita a sua criação.

O diagnóstico de implementação e gestão das unidades de conservação já existentes na atual rede do bioma indicou que 73% não está satisfatoriamente implementada, estando nas faixas de média a baixa implementação. Essa baixa implementação dessas unidades compromete sua eficácia, inclusive na proteção das espécies alvo, indicando a necessidade de melhorar os processos de gestão e governança. Assim, proponho uma lista com 32 unidades de conservação prioritárias para implementação, levando em conta a importância na representatividade das

espécies de aves ameaçadas e endêmicas no Cerrado brasileiro. Esta lista tem aplicabilidade imediata e deve respaldar a tomada de decisão das políticas públicas de conservação da biodiversidade voltadas ao bioma.

Referências Bibliográficas

- Ahmadi, M., Farhadinia, M. S., Cushman, S. A., Hemami, M-R., Balouchi, B. N., Jowkar, H. & Macdonald, D. W. (2020). Species and space: a combined gap analysis to guide management planning of conservation areas. *Landscape Ecology* 35, 1505-1517. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01033-5>
- Avibase (2022). Avibase – The World Bird Database. <https://avibase.bsc-eoc.org/> Accessed March 31, 2022
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C... & Ferrer, E. A. (2011). Has the earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471(7336):51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Bellón, B., Blanco, J., De Vos, A., Roque, F. O., Pays, O. & Renaud, P-C. (2020). Integrated landscape change analysis of protected areas and their surrounding landscapes: application in the Brazilian Cerrado. *Remote Sensing* 12(9):1413. <https://doi.org/10.3390/rs12091413>
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M. & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling* 275, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- Brasil (2000). Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Lei 9985. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm Accessed March 22, 2024.
- Broennimann O., Di Cola V. & Guisan, A. (2022). ecospat: patial ecology miscellaneous methods. R package version 3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=ecospat>
- Brum, F. T., Pressey, R. L., Bini, L. M. & Loyola, R. (2019). Forecasting conservation impact to pinpoint spatial priorities in the Brazilian Cerrado. *Biological Conservation* (240) e108283.
- Cahyaningsih, R., Magos Brehm, J. M. & Maxted, N. (2021). Gap analysis of Indonesian priority medicinal plant species as part of their conservation planning. *Global Ecology and Conservation* 26, e01459. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01459>
- Carranza, T., Balmford, A., Kapos, V. & Manica, A. (2014). Protected area effectiveness in reducing conversion in a rapidly vanishing ecosystem: the Brazilian Cerrado. *Conservation Letters* 7(3):216–223. <https://doi.org/10.1111/conl.12049>
- Catullo, G., Masi, M., Falcucci, A., Maiorano, L., Rondinini, C. & Boitani, L. (2008). A gap analysis of Southeast Asian mammals based on habitat suitability models. *Biological Conservation* 141(11), 2730–2744. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.019>
- CBD (2022). Convention on Biological Diversity. COP15: Final text of Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222> Accessed March 25, 2023.

- CBRO (2022). CBRO – Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. <https://www.cbro.org.br/> Accessed March 31, 2022
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M. & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human induced species losses: entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1(5):e1400253. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1400253>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. & Raven, P. H. (2020). Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(24):13596–13602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>
- CNUC (2022). Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/areas-protetidas/plataforma-cnuc-1/plataforma-cnuc/> Accessed March 31, 2022
- Colman, C. B., Guerra, A., Roque, F. O., Rosa, I. M. D. & Oliveira, P. T. S. (2022). Identifying priority regions and territorial planning strategies for conserving native vegetation in the Cerrado (Brazil) under different scenarios of land use changes. *Science of The Total Environment* (807) e-150998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150998>
- Delgado-Jaramillo, M., Aguiar, L. M. S., Machado, R. B. & Bernard, E. (2020). Assessing the distribution of a species-rich group in a continental-sized megadiverse country: Bats in Brazil. *Diversity and Distributions* 26(5), 632–643. <https://doi.org/10.1111/ddi.13043>
- Diniz-Filho, J. A. F., Bini, L. M., Pinto, M. P., Terribile, L. C., Oliveira, G., Vieira, C. M., Blamires, D., Barreto, B. S., Carvalho, P., Rangel, T. F... & Bastos, R. P. (2008). Conservation planning: A macroecological approach using the endemic terrestrial vertebrates of the Brazilian Cerrado. *Oryx* 42, 567–577. <https://doi.org/10.1017/S0030605308001129>
- Dudley, N. (2008). Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN. With Stolton, S., Shadie, P. & Dudley, N. (2013). IUCN WCPA Best Practice Guidance on Recognising Protected Areas and Assigning Management Categories and Governance Types, Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 21, Gland, Switzerland: IUCN. Available at www.iucn.org/pa_guidelines
- Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38, 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. & Yates, C. J. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Faleiro, F. V., Machado, R. B. & Loyola, R. D (2013). Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change. *Biological Conservation* (158), 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.020>
- Ferreira, G. B., Collen, B., Newbold, T., Oliveira, M. J. R., Pinheiro, M. S., Pinho, F. F., Rowcliffe, M. & Carbone, C. (2020). Strict protected areas are essential for the conservation of larger and threatened mammals in a priority region of the Brazilian

Cerrado. *Biological Conservation* (251) e-108762.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108762>

- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12):4302–4315. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1002/joc.5086>
- Fórum Econômico Mundial (2024) The Global Risks Report 2024 19th edition. Available at <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>
- Françoso, R. D., Brandão, R., Nogueira, C. C., Salmons, Y. B., Machado, R. B. & Colli, G. R. (2015). Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação* 13(1), 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>
- FUNAI (2022). Fundação Nacional dos Povos Indígenas. <https://www.gov.br/funai/> Accessed March 31, 2022
- Gomes, V. H. F., IJff, S. D., Raes, N., Amaral, I. L., Salomão, R. P., Coelho, L. S., Matos, F. D. A., Castilho, C. V., Lima Filho, D. A., López, D. C.... & ter Steege, H. (2018). Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports* 8, e1003. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J. & Elith, J. (2023). dismo: Species distribution modeling. R package version 1.3-14. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hijmans, R. J. (2024). terra: Spatial data analysis. R package version 1.7-71. <https://CRAN.R-project.org/package=terra>
- Hirzel, A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C. & Guisan, A. (2006). Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling* 199(2), 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>
- Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C., Ângulo, A., Böhm, M., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Carpenter, K. E., Chanson, J., Collen, B., Cox, N. A.....& Stuart, S. N. (2010). The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science* 330(6010):1503–1509. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1194442>
- IBGE (2019). IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-atálogo?view=detalhes&id=2101676> Accessed June 8, 2024.
- TCU (2023). Indimapa: Guia Prático para aplicação do Índice de Implementação e Gestão de Áreas Protegidas. Organização Latino-Americana e do Caribe de Entidades Fiscalizadoras Superiores, Conselho Temático de Meio Ambiente. Dantas, B. (prefácio). 88 p. Brasília, 2023. Available at <https://portal.tcu.gov.br/>
- IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E., S., Settele, J., Díaz, S., & Ngo, H., T. (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- IUCN (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/> Accessed March 31, 2022

- Kass, J. M., Muscarella, R., Galante, P. J., Bohl, C. L., Pinilla-Buitrago, G. E., Boria, R. A., Soley-Guardia, M. & Anderson, R. P. (2021). ENMeval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution*. 12(9), 1602-1608. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13628>
- Klink, C. A. & Machado, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19(3), 707–713. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- Machado, R. B., Ramos Neto, M. B. Harris, R. Lourival & L. M. S. Aguiar, (2004). Gap Analysis of the Biodiversity Protection in the Brazilian Cerrado. <https://docplayer.com.br/46935762> Accessed August 15, 2022.
- Margules, C. R. & Pressey, R. L. (2000). Systematic Conservation Planning. *Nature* 405, 243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E. & Jiguet, F. (2009). Major current and future gaps of Brazilian reserves to protect neotropical savanna birds. *Biological Conservation* 142(12), 3039–3050. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.002>
- Marques, N. C. S., Machado, R. B., Aguiar, L. M. S., Mendonça-Galvão, L., Tidon, R., Vieira, E. M., Marini-Filho, O. J. & Bustamante, M. (2022). Drivers of change in tropical protected areas: Long-term monitoring of a Brazilian biodiversity hotspot. *Perspectives in Ecology and Conservation* 20(2):69–78. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.02.001>
- Mittermeier, R. A., Gil, P. R. & Mittermeier, C. G. (1997). Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations. CEMEX, Mexico.
- Mittermeier, R.A., Gil, P. R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. & Fonseca, G. A. B. (2004). Hotspots revisited. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. *University of Chicago Press*, Chicago, USA.
- MMA (2022). Ministério do Meio Ambiente. *Portaria MMA 148, de 7 de junho de 2022*. Diário Oficial da União 108(1), 74 <https://in.gov.br/web/dou> Accessed March 25, 2024.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nóbrega, C. C. & De Marco Jr., P. (2011). Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions* 17(3), 491–505. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>
- ODS (2024). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - Nações Unidas Brasil. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> Accessed May 17, 2024
- Oliveira, U., Soares-Filho, B. S., Paglia, A. P., Brescovit, A. D., Carvalho, C. J. B., Silva, D. P., Rezende, D. T, Leite, F. S. F., Batista, J. A. N., Barbosa, J. P. P. P & Santos, A. J. (2017). Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Scientific Reports* 7 (9141). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>
- Oliveira, S. R., Lima-Ribeiro, M. S., Souza, A. O., Santos, C. E., Silva, K. V., Zórtea, M., Guilherme, F. A. G., Melo, F. R., Carneiro, S. E. S., Silva, W. V. & Morais, A. R. (2019). Are protected areas effective in preserving anurans and promoting biodiversity

- discoveries in the Brazilian Cerrado? *Journal for Nature Conservation* (52)e-125734. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125734>
- Paiva, R. J. O, Brites, R. S, Machado, R. B. (2015) The Role of Protected Areas in the Avoidance of Anthropogenic Conversion in a High Pressure Region: A Matching Method Analysis in the Core Region of the Brazilian Cerrado. *PLOS ONE* 10(7): e0132582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132582>
- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., Raven, P. H., Roberts, C. M. & Sexton, J. O (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344(6187):1246752. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1246752>
- Pebesma, E., (2018). Simple features for R: Standardized support for spatial vector data. *The R Journal* 10(1), 439-446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Phillips, S. J. & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2), 161–175. <https://doi.org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Polizel, S. P., Vieira, R. M. S. P., Pompeu, J., Ferreira, Y. C., Sousa-Neto, E. R., Barbosa, A. A. & Ometto, J. P. H. B. (2021). Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region (Brazil). *Land Use Policy* 109105713. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105713>
- Possingham, H. P., Wilson, K. A., Andelman, S. J. & Vynne, C. H. (2006). Protected areas: Goals, limitations, and design. *Principles of Conservation Biology*. Groom, M. J., Meffe, G. K. & C. Ronald, C. R. (Eds.). Sunderland, Massachusetts, U.S.: Sinauer Associates (pp.507-549).
- Pressey, R. L. & Nicholls, A. O. (1989). Application of a numerical algorithm to the selection of reserves in semi-arid New South Wales. *Biological Conservation* 50, 263–278. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(89\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0006-3207(89)90013-X)
- Qin, F., Xue, T., Yang, X., Zhang, W., Wu, J., Huang, Y., Khan, G. & Yu, S. (2022). Conservation status of threatened land plants in China and priority sites for better conservation targets: distribution patterns and conservation gap analysis. *Biodiversity and Conservation* 31, 2063–2082. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02414-9>
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ratter, J. A., Ribeiro, J. F. & Bridgewater, S. (1997). The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany* 80(3), 223–230. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>
- Resende, F. M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L. & Loyola, R. (2019). Consequences of delaying actions for safeguarding ecosystem services in the Brazilian Cerrado. *Biological Conservation* 234, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.009>
- Resende, F. M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L., Joner, D. C. & Loyola, R. (2021). The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado. *Ecosystem Services* 49, e101282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101282>

- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Chanson, J. S., Fishpool, L. D. C., Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J.... & Yan, X. (2004a). Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* 54(12), 1092–1100. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:GGAPRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPRF]2.0.CO;2)
- Rodrigues, A. S. L., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Cowling, R. M., Fishpool, L. D. C., Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J., Hoffmann, M.... & Yan, X. (2004b). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428, 640–643. <https://doi.org/10.1038/nature02422>
- SALVE (2022). SALVE - Risco de Extinção da Fauna Brasileira, Instituto Brasileiro de Conservação da Biodiversidade. <https://salve.icmbio.gov.br/> Accessed March 31, 2022
- SAMGE (2024). SAMGE - Sistema de Monitoramento e Análise de Gestão <http://samge.icmbio.gov.br/> Accessed May 17, 2024
- Schiavetti, A., Magro, T. C. & Santos, M. S. (2012). Implementação das unidades de conservação do corredor central da mata atlântica no estado da Bahia: desafios e limites. *Revista Árvore* 36(4) 611–623. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400004>
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Groves, C., Anderson, H., Caicco, S., D'Erchia, F., Edwards, T. C., Ulliman, J., & Wright, R. G. (1993). Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. *wildlife monographs*, 123, 3–41. <http://www.jstor.org/stable/3830788>
- Silva, J. M. C. (1997). Endemic bird species and conservation in the cerrado region, south america. *Biodiversity and Conservation* 6(3), 435–450. <https://doi.org/10.1023/A:1018368809116>
- Silva, J. M. C. & Bates, J. M. (2002). Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical Savanna hotspot. *BioScience* 52(3), 225–233. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)
- Silva, V. N., Pressey, R. L., Machado, R. B., VanDerWal, J., Wiederhecker, H. C., Werneck, F. P. & Colli, G. R. (2014). Formulating conservation targets for a gap analysis of endemic lizards in a biodiversity hotspot. *Biological Conservation* 180, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.09.016>
- Silva, J. M. C., De Souza, M. A., Ribeiro, V. & Machado, R. B. (2018). *Niche expansion of the common waxbill (Estrilda astrild) in its non-native range in Brazil*. *Biol Invasions* 20(9), 2635–2646. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1723-2>
- Silva, F. P. & De Marco Jr, P. (2023). The role of protected areas in safeguarding bat diversity in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 32, 2909–2924. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02635-6>
- Stiels, D., Schidelko, K., Engler, J. O., Van Den Elzen, R. & Rödder, D. (2011). Predicting the potential distribution of the invasive Common Waxbill *Estrilda astrild* (Passeriformes: Estrildidae). *Journal of Ornithology* 152, 769–780. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0662-9>
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A., Oliveira Filho, F. J., De Mattos Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F.

- R.... & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution* 1, e0099. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Terrabrasilis (2022). Portal TerraBrasilis do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/> Accessed March 31, 2022
- Velazco, S. J. E., Ribeiro, B. R., Laureto, L. M. O. & De Marco Jr., P. (2020). Overprediction of species distribution models in conservation planning: A still neglected issue with strong effects. *Biological Conservation* 252, e108822. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108822>
- Vieira, R. R. S., Pressey, R. L. & Loyola, R. (2019). The residual nature of protected areas in Brazil. *Biological Conservation* (233)152–161 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.010>.
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K. & Vaughan, D. (2023). dplyr: A grammar of data manipulation. R package version 1.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Worboys, G. L., & Trzyna, T. (2015). Managing protected areas. G. L. Worboys, M., Lockwood, A., Kothari, S., Feary & Pulsford, I. (eds). *Protected Area Governance and Management*, 207–250, ANU Press, Canberra.
- Yang, B., Qin, S., Xu, W., Busch, J., Yang, X., Gu, X., Yang, Z., Wang, B., Dai, Q. & Xu, Y. (2020). Gap analysis of giant panda conservation as an example for planning china's national park system. *Current Biology* 30(7), 1287-1291. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.069>

Anexo 1

Tabela S1: Unidades de Conservação selecionadas para a análise, grupo segundo o SNUC, categoria segundo a IUCN, número de identificação (id) na análise, área total (km²), esfera administrativa e estados abrangidos.

Nome ¹	Grupo SNUC	Categoria IUCN	Id	Área total (km ²)	Esfera administrativa	Estado ²
Esec de Pirapitinga	PI	Ia	1	13,84	Federal	MG
Esec de Uruçuí-Una	PI	Ia	2	1.351,23	Federal	PI
Esec da Serra das Araras	PI	Ia	3	271,59	Federal	MT
Parna Cavernas do Peruaçu	PI	II	4	564,48	Federal	MG
Parna da Chapada dos Veadeiros	PI	II	5	2.405,82	Federal	GO
Parna da Serra da Canastra	PI	II	6	1.979,69	Federal	MG
Parna Serra das Confusões	PI	II	7	8.238,34	Federal	PI
Parna da Serra do Cipó	PI	II	8	316,39	Federal	MG
Parna das Emas	PI	II	9	1.327,84	Federal	GO
Parna das Nascentes do Rio Parnaíba	PI	II	10	7.497,60	Federal	BA, MA, PI, TO
Parna de Brasília	PI	II	11	423,55	Federal	DF, GO
Parna de Sete Cidades	PI	II	12	63,04	Federal	PI
Parna do Araguaia	PI	II	13	5.554,96	Federal	TO
Parna dos Lençóis Maranhenses	PI	II	14	1.565,65	Federal	MA
Rebio da Contagem	PI	Ia	15	34,12	Federal	DF
Parna da Chapada das Mesas	PI	II	16	1.599,51	Federal	MA
Mona Estadual Gruta Rei do Mato	PI	III	17	1,41	Estadual	MG
PE Rio Preto	PI	II	18	121,85	Estadual	MG
Esec Mata dos Ausentes	PI	Ia	19	4,55	Estadual	MG
Esec de Corumbá	PI	Ia	20	3,10	Estadual	MG
PE do Sumidouro	PI	II	21	20,06	Estadual	MG
PE Serra das Araras	PI	II	22	135,53	Estadual	MG
PE Grão Mogol	PI	II	23	283,90	Estadual	MG
PE Biribiri	PI	II	24	170,03	Estadual	MG
PE Serra Negra	PI	II	25	131,06	Estadual	MG
PE Veredas do Peruaçu	PI	II	26	312,50	Estadual	MG
PE Pico do Itambé	PI	II	27	65,21	Estadual	MG
PE de Sagarana	PI	II	28	23,42	Estadual	MG
PE do Prosa	PI	II	29	1,33	Estadual	MS
PE das Nascentes do Rio Taquari	PI	II	30	305,97	Estadual	MS
PE Matas do Segredo	PI	II	31	1,77	Estadual	MS
PE Águas do Cuiabá	PI	II	32	109,62	Estadual	MT
Rebio Culuene	PI	Ia	33	36,14	Estadual	MT
PE Dom Osório Stoffel	PI	II	34	64,21	Estadual	MT
PE Mãe Bonifácia	PI	II	35	0,77	Estadual	MT
PE Serra Azul	PI	II	36	110,07	Estadual	MT
Revis Corixão da Mata Azul	PI	III	37	357,08	Estadual	MT

PE Massairo Okamura	PI	II	38	0,53	Estadual	MT
PE do Quartelá	PI	II	39	7,88	Estadual	PR
Esec Jataí	PI	Ia	40	90,00	Estadual	SP
PE Das Furnas do Bom Jesus	PI	II	42	20,63	Estadual	SP
PE De Vassununga	PI	II	43	20,65	Estadual	SP
PE Serra Nova e Talhado	PI	II	44	498,56	Estadual	MG
PE Campos Altos	PI	II	45	7,83	Estadual	MG
PE da Serra do Cabral	PI	II	46	224,44	Estadual	MG
Mona Estadual Peter Lund	PI	III	47	0,73	Estadual	MG
Esec do Rio Preto	PI	Ia	48	48,79	Estadual	BA
PE Altamiro de Moura Pacheco	PI	II	49	31,39	Estadual	GO
PE da Lapa Grande	PI	II	50	153,73	Estadual	MG
PE de Águas Quentes	PI	II	51	15,07	Estadual	MT
PE do Jalapão	PI	II	52	1.589,70	Estadual	TO
PE do Cantão	PI	II	53	1.004,12	Estadual	TO
PE do Lajeado	PI	II	54	107,50	Estadual	TO
Mona das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins	PI	III	55	325,48	Estadual	TO
Mona da Gruta do Lago Azul	PI	III	56	2,39	Estadual	MS
Mona do Rio Formoso	PI	III	57	0,18	Estadual	MS
PE Vale do Códó	PI	II	58	8,63	Estadual	PR
Esec de Águas Emendadas	PI	Ia	59	91,81	Estadual	DF
Rebio do Cerradão	PI	Ia	60	0,54	Estadual	DF
Esec do Jardim Botânico	PI	Ia	61	45,02	Estadual	DF
Rebio do Guará	PI	Ia	62	1,45	Estadual	DF
Rebio do Gama	PI	Ia	63	5,37	Estadual	DF
Rebio do Rio Descoberto	PI	Ia	64	4,34	Estadual	DF
PE da Serra de Caldas Novas	PI	II	65	121,59	Estadual	GO
PE dos Pirineus	PI	II	66	28,37	Estadual	GO
PE de Terra Ronca	PI	II	67	569,82	Estadual	GO
PE da Serra de Jaraguá	PI	II	68	28,29	Estadual	GO
PE de Paraúna	PI	II	69	33,35	Estadual	GO
PE do Araguaia	PI	II	70	46,63	Estadual	GO
PE da Serra Dourada	PI	II	71	286,43	Estadual	GO
Esec de Acauã	PI	Ia	72	48,62	Estadual	MG
PE Serra do Intendente	PI	II	73	135,12	Estadual	MG
PE do Pau Furado	PI	II	74	21,86	Estadual	MG
PE de Montezuma	PI	II	75	17,41	Estadual	MG
PE Zé Bolo Flô	PI	II	76	0,52	Estadual	MT
Mona do Conjunto Espeleológico do Morro da Pedreira	PI	III	77	0,91	Estadual	DF
PE do Araguaiaa	PI	II	78	2.299,18	Estadual	MT
Mona Morro de Santo Antônio	PI	III	79	2,58	Estadual	MT
PE do Limoeiro	PI	II	80	20,09	Estadual	MG
PE de Paracatu	PI	II	81	63,98	Estadual	MG
Mona Estadual Vargem da Pedra	PI	III	82	0,10	Estadual	MG

Mona Experiência da Jaguara	PI	III	83	0,39	Estadual	MG
Mona Estadual Lapa Vermelha	PI	III	84	0,33	Estadual	MG
PE Cerca Grande	PI	II	85	1,34	Estadual	MG
Esec de Avaré	PI	Ia	86	7,19	Estadual	SP
PE Serra do Sobrado	PI	II	87	3,84	Estadual	MG
Esec de Mogi-Guaçu	PI	Ia	88	9,88	Estadual	SP
Revis Estadual dos Rios Tijuco E da Prata	PI	III	89	97,53	Estadual	MG
Mona Estadual De Santo Antônio	PI	III	90	0,31	Estadual	MG
Mona Estadual Várzea do Lageado E Serra do Raio	PI	III	91	22,00	Estadual	MG
Mona Estadual Várzea da Lapa	PI	III	92	0,24	Estadual	MG
Esec de Itapeva	PI	Ia	93	0,99	Estadual	SP
Esec de Paranapanema	PI	Ia	94	6,35	Estadual	SP
Esec de Santa Maria	PI	Ia	95	13,12	Estadual	SP
Esec de Santa Bárbara	PI	Ia	96	31,64	Estadual	SP
Esec de Itirapina	PI	Ia	97	22,06	Estadual	SP
Esec de Assis	PI	Ia	98	17,48	Estadual	SP
Esec de Angatuba	PI	Ia	99	13,63	Estadual	SP
PE do João Leite	PI	II	100	28,38	Estadual	GO
Revis Estadual Macaúbas	PI	III	101	22,84	Estadual	MG
Revis Estadual Serra das Aroeiras	PI	III	102	10,36	Estadual	MG
Parque Distrital Salto do Tororó	PI	II	103	0,61	Estadual	DF
Revis Da Mata Seca	PI	III	104	2,53	Estadual	DF
Mona Estadual Lapa Nova de Vazante	PI	III	105	0,79	Estadual	MG
PE de Botumirim	PI	II	106	352,87	Estadual	MG
Revis Aimorés	PI	III	107	17,24	Estadual	SP
Esec Chapada de Nova Roma	PI	Ia	108	69,30	Estadual	GO
PE Águas Lindas	PI	II	109	20,09	Estadual	GO
PE Águas do Paraíso	PI	II	110	56,75	Estadual	GO
PE Serra Verde	PI	II	111	1,42	Estadual	MG
Parna das Sempre Vivas	PI	II	112	1.241,54	Federal	MG
PE de Mirador	PI	II	113	5.012,04	Estadual	MA
PE Serra da Boa Esperança	PI	II	114	58,82	Estadual	MG
Parna Grande Sertão Veredas	PI	II	115	2.308,53	Federal	BA, MG
Revis das Veredas do Oeste Baiano	PI	III	116	1.280,48	Federal	BA
Parna da Serra da Bodoquena	PI	II	117	769,75	Federal	MS
Esec Serra Geral Do TO	PI	Ia	118	7.070,78	Federal	BA, TO
Parna da Chapada dos Guimarães	PI	II	119	326,47	Federal	MT
Apa Cavernas do Peruacu	US	V	120	1.433,53	Federal	MG
Apa da Bacia do Rio São Bartolomeu	US	V	121	826,79	Federal	DF
Apa Serra da Tabatinga	US	V	122	417,79	Federal	TO
Apa Delta do Parnaíba	US	V	123	3.095,83	Federal	CE, MA, PI

Apa Ilhas e Várzeas do Rio Paraná	US	V	124	10.051,73	Federal	MS, PR, SP
Apa Morro da Pedreira	US	V	125	1.317,68	Federal	MG
Flona de Brasília	US	VI	126	56,23	Federal	DF, GO
Flona de Cristópolis	US	VI	127	128,40	Federal	BA
Flona de Palmares	US	VI	128	1,68	Federal	PI
Flona de Paraopeba	US	VI	129	2,03	Federal	MG
Flona da Mata Grande	US	VI	130	20,10	Federal	GO
Resex Marinha Do Delta Do Parnaíba	US	VI	131	270,21	Federal	MA, PI
Resex Mata Grande	US	VI	132	114,31	Federal	MA
Apa João Leite	US	V	133	713,41	Estadual	GO
Apa Bacia Do Rio Pandeiros	US	V	134	3.941,72	Estadual	MG
Apa Vargem Das Flores	US	V	135	122,79	Estadual	MG
Apa Águas Vertentes	US	V	136	762,85	Estadual	MG
Apa das Cabeceiras do Rio Cuiabá	US	V	137	4.732,10	Estadual	MT
Apa da Chapada dos Guimarães	US	V	138	2.534,40	Estadual	MT
Apa do Salto Magessi	US	V	139	78,45	Estadual	MT
Apa Estadual da Escarpa Devoniana	US	V	140	4.147,83	Estadual	PR
Apa Cochá e Gibão	US	V	141	2.855,48	Estadual	MG
Floresta Estadual São Judas Tadeu	US	VI	142	1,41	Estadual	MG
Apa Pouso Alto	US	V	143	8.394,86	Estadual	GO
Apa do Rio Preto	US	V	144	11.468,62	Estadual	BA
Apa de São Desidério	US	V	145	109,70	Estadual	BA
Apa das Nascentes de Araguaína	US	V	146	155,97	Estadual	TO
Apa Lago de São Salvador do TO, Paranã e Palmeirópolis	US	V	147	142,25	Estadual	TO
Apa Lago de Peixe/Angical	US	V	148	754,51	Estadual	TO
Apa Lago de Palmas	US	V	149	638,58	Estadual	TO
Apa Serra do Lajeado	US	V	150	1.118,82	Estadual	TO
Apa Jalapão	US	V	151	0,00	Estadual	TO
Apa Foz do Rio Santa Tereza	US	V	152	501,43	Estadual	TO
Apa Ilha do Bananal/Cantão	US	V	153	15.699,96	Estadual	TO
Resex do Ciriáco	US	VI	154	81,07	Federal	MA
Resex Chapada Limpa	US	VI	155	119,73	Federal	MA
Apa Rio Cênico Rotas Monçoeiras	US	V	156	154,23	Estadual	MS
Apa Estrada Parque de Piraputanga	US	V	157	101,27	Estadual	MS
Arie do Córrego Mato Grande	US	IV	164	1,32	Estadual	DF
Apa Corumbataí, Botucatu e Tejuapá Perimetro Corumbataí	US	V	168	2.749,06	Estadual	SP
Apa Ibitinga	US	V	169	690,87	Estadual	SP
Apa Rio Batalha	US	V	170	2.362,73	Estadual	SP
Apa Serra Geral de Goiás	US	V	171	441,47	Estadual	GO
Apa da Serra Dourada	US	V	172	370,40	Estadual	GO
Apa dos Pireneus	US	V	173	191,83	Estadual	GO

Apa Serra da Jibóia	US	V	174	171,61	Estadual	GO
Arie Águas De São João	US	IV	175	0,25	Estadual	GO
Apa da Serra Das Galés e da Portaria	US	V	176	319,87	Estadual	GO
Floresta Estadual Do Araguaia	US	VI	177	223,38	Estadual	GO
Apa Do Encantado	US	V	178	0,00	Estadual	GO
Apa Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uberaba	US	V	180	454,92	Estadual	MG
Apa Da Baixada Maranhense	US	V	181	17.282,97	Estadual	MA
Apa De Upaon-Açu / Miritiba / Alto Preguiças	US	V	182	15.587,00	Estadual	MA
Apa Da Foz Do Rio Das Preguiças - Pequenos Lençóis - Região Lagunar Adjacente	US	V	183	2.061,30	Estadual	MA
Apa Dos Morros Garapenses	US	V	184	2.343,19	Estadual	MA
Apa Nascentes Do Rio Paraguai	US	V	185	708,57	Estadual	MT
Apa Corumbataí Botucatu	US	V	186	2.139,00	Estadual	SP
Tejupa Perimetro Botucatu	US	V	186	2.139,00	Estadual	SP
Apa Piracicaba Juqueri Mirim Área I	US	V	187	1.142,01	Estadual	SP
Floresta Estadual Pederneiras	US	VI	188	19,41	Estadual	SP
Floresta Estadual De Assis	US	VI	189	27,09	Estadual	SP
Rds Nascentes Geraizeiras	US	VI	190	381,77	Federal	MG
Resex Da Baía Do Tubarão	US	VI	191	2.239,23	Federal	MA
Area De Proteção Ambiental Barreiro Rico	US	V	192	301,00	Estadual	SP
Apa Tanquã-Rio Piracicaba	US	V	193	140,38	Estadual	SP
Arie Leopoldo Magno Coutinho	US	IV	194	23,10	Estadual	SP
Rds Veredas Do Acari	US	VI	195	591,15	Estadual	MG
Arie Cerrado Pé-De-Gigante	US	IV	196	11,99	Federal	SP
Arie Buriti de Vassununga	US	IV	197	1,51	Federal	SP
Apa Bacia do Rio de Janeiro	US	V	198	3.527,27	Estadual	BA
Apa Do Planalto Central	US	V	199	5.034,15	Federal	DF, GO
Apa do Lago Paranoá	US	V	200	160,71	Estadual	DF
Resex Lago do Cedro	US	VI	201	171,79	Federal	GO
Apa Carste de Lagoa Santa	US	V	202	377,35	Federal	MG
Apa das Nascentes do Rio Vermelho	US	V	203	1.739,67	Federal	BA, GO
Flona de Silvânia	US	VI	204	4,86	Federal	GO
Apa de Cafuringa	US	V	205	462,80	Estadual	DF
Apa da Bacia do Rio Descoberto	US	V	206	417,83	Federal	DF, GO
Apa dos Meandros do Rio Araguaia	US	V	207	3.591,87	Federal	GO, MT, TO
Apa Serra da Ibiapaba	US	V	208	16.241,62	Federal	CE, PI
Resex de Recanto das Araras de Terra Ronca	US	VI	210	123,49	Federal	GO
Apa das Bacias Gama e Cabeça de Veado	US	V	211	236,25	Estadual	DF
Flona de Capão Bonito	US	VI	212	42,37	Federal	SP

Notas: 1. Siglas segundo SNUC: Estação Ecológica (Esec); Parque Nacional (Parna); Parque Estadual (PE); Monumento Natural (Mona); Reserva Biológica (Rebio); Refúgio de Vida

Silvestre (Revis); Área de Proteção Ambiental (Apa); Reserva Extrativista (Resex); Reserva de Desenvolvimento Sustentável (Rds) e Floresta Nacional (Flona); **2.** PI= Proteção Integral e US= Uso Sustentável; **3.** Siglas dos estados: Minas Gerais (MG), Piauí (PI), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Bahia (BA), Maranhão (MA), Tocantins (TO), Distrito Federal (DF), Mato Grosso do Sul (MS), Paraná (PR), São Paulo (SP) e Ceará (CE).

Anexo 2

Tabela S2: Terras Indígenas selecionadas para a análise, nomes das etnias, números de identificação na análise (id), área total (em km²) e estados abrangidos.

Nome	Grupo étnico	Id	Área total (km ²)	Estado ¹
Buriti	Terena	213	172,00	MS
Buriti	Terena	214	20,90	MS
Buritizinho	Guarani Kaiowá	215	0,10	MS
Ofayé-Xavante	Ofayé	216	19,38	MS
Ofayé-Xavante	Ofayé	217	4,84	MS
Tereza Cristina	Boróro	218	300,60	MT
Tadarimana	Boróro	219	97,85	MT
Xacriabá	Xacriabá	220	433,57	MG
Xacriabá	Xacriabá	221	464,16	MG
Xakriabá Rancharia	Xacriabá	222	67,98	MG
Caxixó	Kaxixó	223	54,11	MG
Pimentel Barbosa	Xavante	224	3.289,66	MT
Urubu Branco	Tapirapé	225	1.675,33	MT
Wedezé	Xavante	226	1.458,81	MT
Tapirapé/Karajá	Tapirapé,Karajá	227	661,66	MT
São Domingos	Karajá	228	57,05	MT
Parque do Araguaia	Tapirapé,Javaé,Karajá,Ava-Canoeiro	229	13.584,99	TO
Utaria Wyhyna/Iròdu Iràna	Javaé,Karajá	230	1.774,66	TO
Taego Áwa	Ava-Canoeiro	231	285,10	TO
Avá-Canoeiro	Ava-Canoeiro	232	380,00	GO
Cacique Fontoura	Karajá	233	323,05	MT
Inawebohona	Javaé,Karajá	234	3.771,14	TO
Krahó-Kanela	Krahó-Kanela	235	76,13	TO
Ubawawe	Xavante	236	522,34	MT
Areões	Xavante	237	2.185,15	MT
Sangradouro/Volta Grande	Xavante,Boróro	238	1.002,80	MT
Bakairi	Bakairi	240	614,05	MT
Santana	Bakairi	241	354,71	MT
Jaguari	Guarani Kaiowá	242	4,05	MS
Dourados-Amambaieguá I	Guarani	243	556,00	MS
Carretão I	Tapuia	244	16,66	GO
Carretão II	Tapuia	245	0,78	GO
Krenyê	Timbira,Krenyê	247	80,36	MA
Karajá de Aruanã II	Karajá	248	8,93	MT
Karajá de Aruanã III	Karajá	249	7,05	GO
Kadiwéu	Terena,Kadiwéu	250	5.385,36	MS
Pilad Rebuá	Terena	251	2,08	MS
Cachoeirinha	Terena	252	362,88	MS
Cachoeirinha	Terena	253	26,58	MS
Taunay/Ipegue	Terena	254	339,00	MS

Iguatemipegua I	Guarani Kaiowá	255	415,71	MS
Lalima	Terena,Kinikinau	256	30,00	MS
Limão Verde	Terena	257	53,77	MS
Nioaque	Terena	258	30,29	MS
Nossa Senhora de Fátima	Terena	259	0,89	MS
Rodeador	Tenetehara	260	23,19	MA
Uty-Xunaty	Terena	261	8,97	RO
Pirineus de Souza	Nambikwára	262	282,12	MT
Kanela	Kanela	263	1.252,12	MA
Kanela Memortumré	Kanela	264	1.002,21	MA
Parque do Aripuanã	Cinta Larga	265	16.032,46	MT, RO
Enawenê-Nawê	Enawenê-Nawê	266	7.420,89	MT
Tirecatinga	Halotesu	267	1.305,75	MT
Urucu/Juruá	Tenetehara	268	126,97	MA
Geralda Toco Preto	Timbira	269	185,06	MA
Bacurizinho	Guajá	270	1.340,40	MA
Bacurizinho	Guajá	271	824,32	MA
Cana Brava/Guajajara	Tenetehara	273	1.373,30	MA
Porquinhos dos Canela-Apãnjekra	Kanela	274	3.010,00	MA
Lagoa Comprida	Tenetehara	275	131,98	MA
Funil	Xerente	276	157,04	TO
Xerente	Xerente	277	1.675,42	TO
Apinayé	Apinayé	278	1.419,04	TO
Arariboia	Guajá	279	4.132,88	MA
Maranduba	Karajá	280	3,75	TO, PA
Governador	Tenetehara,Gavião Pukobiê	281	416,44	MA
Kraolandia	Krahô	282	3.025,33	TO
Krikati	Krikati	283	1.447,76	MA
Morro Branco	Tenetehara	284	0,49	MA
Karajá Santana do Araguaia	Karajá	285	14,86	PA
Las Casas	Kayapó	286	213,45	PA
Rancho Jacaré	Guarani Kaiowá	287	7,78	MS
Caarapó	Guarani Kaiowá	288	35,94	MS
Pirakua	Guarani Kaiowá	289	23,84	MS
Panambi - Lagoa Rica	Guarani Kaiowá	290	121,96	MS
Sucuriy	Guarani Kaiowá	291	5,35	MS
Dourados	Guarani Nhandeva, Terena	292	34,75	MS
Ñande Ru Marangatu	Guarani Kaiowá	293	93,17	MS
Guasuti	Guarani Kaiowá	294	9,59	MS
Taquaperi	Guarani Kaiowá	295	17,77	MS
Guaimbé	Guarani Kaiowá	296	7,17	MS
Aldeia Limão Verde	Guarani Kaiowá	297	6,68	MS
Amambai	Guarani Kaiowá	298	24,30	MS
Jatayvari	Guarani Kaiowá	299	88,00	MS
Sete Cerros	Guarani Nhandeva,Guarani Kaiowá	300	85,85	MS
Ypoi/Triunfo	Guarani Nhandeva	301	197,56	MS
Potrero Guaçu	Guarani Nhandeva	302	40,25	MS

Pirajuí	Guarani Nhandeva	303	21,18	MS
Arroio-Korá	Guarani Kaiowá	304	71,76	MS
Takuaraty/Yvykuarusu	Guarani Kaiowá	305	26,09	MS
Krenrehé	Krenák	307	59,74	MT
Manoki	Irántxe	308	2.505,40	MT
Maraiwatsede	Xavante	309	1.652,41	MT
Menkü	Mynky	310	1.463,98	MT
Menkü	Mynky	311	470,95	MT
Nambikwara	Nambikwára	312	10.119,61	MT
Figueiras	Paresí	313	98,59	MT
Estivadinho	Paresí	314	20,32	MT
Chão Preto	Xavante	315	127,42	MT
Parabubure	Xavante	316	2.244,47	MT
Marechal Rondon	Xavante	317	985,00	MT
Rio Formoso	Paresí	318	197,49	MT
Estação Paresis	Paresí	319	21,70	MT
Paresi	Paresí	320	5.635,87	MT
São Marcos	Xavante	321	1.884,78	MT
Ponte de Pedra	Paresí	322	170,00	MT
Utiariti	Paresí	323	4.123,04	MT
Merure	Boróro	324	823,01	MT
Taihantesu	Wasusu	325	53,62	MT
Uirapuru	Paresí	326	216,80	MT
Vale do Guaporé	Nambikwára	327	2.425,93	MT
Juininha	Paresí	328	705,38	MT
Jarudore	Boróro	329	47,06	MT
Umutina	Umutina	330	281,20	MT

Nota: 1. Siglas dos estados: Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grasso (MT), Minas Gerais (MG), Tocantins (TO), Goiás (GO), Maranhão (MA), Rondônia (RO) e Pará (PA).

Anexo 3

Tabela S3: Unidades de conservação avaliadas quanto à implementação, identificadas pelo id na análise, valores correspondentes a cada indicador, valor final do indimapa e faixa de implementação.

id	Indicadores ¹												Indimapa	Implementação ²
	H	S	E	T	F	P	B	C	M	U	L	N		
1	2	2	2	3	2	3	0	1	NA	0	0	NA	1,64	média
2	3	1	1	0	2	2	0	0	0	NA	0	NA	0,82	baixa
3	2	2	2	1	3	3	1	2	NA	2	0	NA	1,91	média
4	0	3	3	1	3	3	0	3	0	3	2	NA	1,92	média
5	2	2	2	1	3	3	1	3	NA	2	3	3	2,33	alta
6	3	3	3	1	2	3	2	2	1	1	0	NA	2,00	alta
7	2	2	3	2	3	1	0	2	NA	1	0	NA	1,73	média
8	3	2	3	3	3	2	2	3	2	1	3	NA	2,50	alta
9	3	2	3	3	3	3	1	2	NA	1	0	NA	2,18	alta
10	2	3	3	2	3	3	1	3	0	1	2	NA	1,92	média
11	2	1	1	1	3	3	2	1	NA	1	1	2	1,75	média
12	3	0	2	3	2	2	0	1	NA	2	0	NA	1,64	média
13	2	2	2	2	3	2	0	1	0	0	0	NA	1,33	média
14	3	3	3	1	2	2	0	3	0	1	1	2	1,77	média
15	2	3	1	2	3	2	0	2	NA	1	0	NA	1,45	média
16	2	3	3	1	3	3	1	2	3	1	1	NA	1,92	média
17	3	2	3	NA	2	2	1	3	NA	2	2	3	2,36	alta
18	3	2	2	2	3	2	3	1	2	3	0	2	2,15	alta
19	3	2	1	2	3	3	2	3	NA	NA	3	NA	2,50	alta
20	3	3	3	3	2	2	2	3	NA	NA	1	NA	2,50	alta
21	2	1	2	1	2	2	1	1	NA	3	0	3	1,75	média
23	2	0	3	2	3	1	0	2	NA	1	0	0	1,17	média
24	2	2	3	2	3	2	0	3	NA	1	3	2	2,08	alta
25	3	2	3	2	3	3	1	3	NA	1	0	0	1,75	média
27	3	2	3	3	3	3	0	0	NA	1	0	1	1,83	média
28	2	3	3	2	2	3	1	3	NA	1	1	0	1,77	média
32	2	2	1	2	3	1	0	2	NA	0	0	0	1,08	média
39	1	1	1	0	0	3	0	1	NA	3	0	1	1,08	média
42	2	3	3	3	3	2	2	2	NA	2	0	0	1,83	média
43	2	2	1	3	3	3	3	2	NA	1	0	0	1,92	média
45	1	0	3	2	2	1	1	2	NA	0	0	0	1,17	média
46	1	3	3	2	3	1	1	3	NA	1	0	0	1,75	média
47	3	3	3	2	3	2	1	3	NA	3	1	3	2,42	alta
50	3	2	3	3	3	2	3	3	0	2	1	0	2,15	alta
52	2	2	2	1	0	3	1	2	NA	1	0	2	1,58	média
53	2	2	1	2	1	2	2	1	NA	0	1	2	1,58	média
54	3	2	2	2	3	3	2	0	NA	0	0	1	1,75	média
55	3	3	3	2	3	2	1	0	NA	1	0	0	1,58	média
58	2	1	1	2	0	2	1	1	NA	2	0	0	1,00	média
65	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2,62	alta

67	3	2	3	1	2	3	1	2	NA	1	2	3	2,08	alta
71	2	3	3	2	3	0	1	2	NA	1	0	0	1,42	média
72	2	3	2	3	3	3	3	3	0	NA	0	NA	2,50	alta
73	2	2	3	1	3	3	1	3	1	1	1	1	1,92	média
74	1	0	1	3	2	1	0	2	NA	2	0	0	1,17	média
80	3	3	3	3	3	2	2	3	NA	3	1	0	2,42	alta
82	1	0	2	2	3	2	0	1	NA	1	0	0	0,92	baixa
83	1	0	2	2	3	2	0	1	NA	1	0	0	0,92	baixa
84	2	1	0	3	3	2	3	0	NA	NA	1	0	1,36	média
85	3	2	3	2	3	2	0	1	NA	0	0	0	1,42	média
86	2	2	3	3	3	3	3	0	NA	NA	1	NA	2,30	alta
87	2	1	0	2	2	0	0	2	NA	0	1	0	0,83	baixa
88	3	2	3	3	3	3	2	2	NA	NA	0	NA	2,30	alta
89	2	3	3	2	3	1	0	0	1	0	0	0	1,15	média
90	1	0	2	2	3	2	0	1	NA	1	0	0	0,92	baixa
91	2	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0,85	baixa
92	2	3	0	2	3	2	0	0	NA	NA	0	0	1,09	média
93	3	2	3	3	3	3	0	2	NA	NA	1	NA	2,30	alta
94	1	0	2	3	1	3	1	0	NA	NA	0	NA	1,30	média
95	3	3	2	2	3	2	0	3	NA	NA	3	NA	2,40	alta
96	2	3	3	3	3	3	3	0	NA	NA	0	NA	2,30	alta
98	1	0	2	3	3	3	1	2	NA	NA	0	NA	1,80	média
99	3	1	3	3	2	3	3	3	NA	NA	0	NA	2,40	alta
101	1	0	0	1	2	0	0	1	NA	0	0	0	0,38	baixa
102	1	0	0	1	2	0	0	3	NA	0	0	0	0,75	baixa
106	1	0	1	1	0	0	1	1	NA	1	0	0	0,50	baixa
111	3	0	3	1	3	1	0	3	NA	2	0	0	1,58	média
112	3	3	3	1	3	3	0	3	0	1	2	NA	2,08	alta
113	2	2	1	1	2	1	1	2	0	0	0	0	0,92	baixa
114	3	0	3	1	2	1	1	2	NA	0	0	0	1,33	média
115	2	3	3	3	3	3	1	3	NA	1	2	NA	2,45	alta
116	1	0	2	2	3	3	0	0	0	0	0	NA	0,92	baixa
117	2	2	2	1	3	2	3	3	NA	1	1	2	2,00	alta
118	3	2	3	2	3	2	1	3	3	2	2	NA	2,42	alta
119	3	2	3	1	3	2	2	3	NA	1	0	2	2,08	alta
120	1	1	2	NA	2	1	0	3	1	NA	0	NA	1,10	média
121	1	3	3	NA	3	1	0	0	2	NA	0	NA	1,30	média
122	0	2	0	NA	1	0	0	0	0	NA	0	NA	0,30	baixa
123	1	0	3	NA	2	2	1	2	1	1	1	NA	1,36	média
124	2	1	3	NA	3	2	0	3	1	1	1	NA	1,55	média
125	3	2	3	NA	3	2	0	3	2	1	3	NA	2,27	alta
126	2	2	2	0	1	1	1	2	NA	1	2	0	1,33	média
127	0	1	0	0	1	0	0	0	NA	NA	0	NA	0,20	baixa
128	2	1	3	3	3	3	3	2	NA	2	0	NA	2,00	alta
129	1	0	3	3	2	2	0	3	NA	1	0	NA	1,36	média
130	1	0	0	1	2	0	0	0	NA	NA	0	NA	0,40	baixa
131	3	3	3	2	2	2	1	3	2	1	3	NA	2,08	alta
132	3	1	3	1	3	0	1	2	NA	0	0	NA	1,27	média

134	3	2	1	2	3	2	0	1	NA	NA	0	NA	1,70	média
136	1	0	3	3	2	2	0	1	0	NA	0	NA	1,36	média
140	3	3	2	2	3	3	1	3	3	NA	1	NA	2,45	alta
141	3	2	1	2	3	2	0	1	NA	NA	0	NA	1,70	média
146	2	2	1	2	0	1	2	0	0	NA	0	NA	0,91	baixa
150	2	3	2	2	3	1	1	1	2	NA	2	NA	1,91	média
151	2	0	0	2	3	1	2	2	0	NA	0	NA	1,27	média
153	3	3	2	2	3	1	1	2	NA	NA	0	NA	2,10	alta
154	2	1	2	3	3	2	1	3	2	1	3	NA	1,92	média
155	3	2	3	2	2	2	0	2	2	0	2	NA	1,67	média
168	3	3	3	2	3	0	0	3	NA	NA	0	NA	1,70	média
169	2	2	2	3	2	2	1	0	1	NA	0	NA	1,27	média
180	1	0	0	1	1	0	0	0	NA	NA	0	NA	0,30	baixa
181	1	0	0	2	0	0	0	0	0	NA	0	NA	0,27	baixa
182	1	0	0	2	0	0	0	0	0	NA	0	NA	0,27	baixa
183	1	0	0	2	0	0	0	0	0	NA	0	NA	0,27	baixa
184	1	0	0	2	1	0	0	0	0	NA	0	NA	0,36	baixa
186	2	2	3	2	2	2	0	2	0	NA	2	NA	1,55	média
187	3	3	3	2	3	0	0	3	NA	NA	0	NA	1,70	média
189	1	2	1	3	3	3	2	2	NA	1	0	0	1,75	média
190	2	0	1	1	2	1	0	3	0	0	2	NA	1,00	média
191	2	1	2	2	2	2	2	0	0	3	2	NA	1,50	média
192	2	3	0	2	3	3	3	3	NA	NA	2	NA	2,10	alta
193	3	3	2	2	3	2	2	3	0	NA	3	NA	2,09	alta
196	3	3	1	NA	3	3	1	2	NA	1	0	NA	1,70	média
197	2	2	1	NA	2	2	1	2	NA	1	0	NA	1,30	média
199	2	2	3	NA	3	2	1	1	NA	0	0	NA	1,70	média
201	1	1	3	1	2	0	1	1	NA	0	0	NA	0,91	baixa
202	3	0	1	NA	3	0	0	3	NA	0	2	NA	1,40	média
203	1	1	2	NA	2	3	0	1	0	1	0	NA	1,00	média
204	3	1	2	3	3	3	3	3	NA	1	0	NA	2,27	alta
206	0	0	2	NA	0	0	1	1	NA	1	2	NA	1,00	média
207	1	0	3	NA	2	1	0	2	0	0	0	NA	0,82	baixa
208	2	2	2	NA	3	0	0	2	1	1	0	NA	1,27	média
210	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	NA	0,17	baixa
212	0	1	1	2	2	1	0	2	NA	0	0	1	1,00	média

Notas: 1. Indicadores avaliados. G: plano de manejo; H: recursos humanos; S: recursos financeiros; E: estrutura administrativa; T: consolidação territorial; F: proteção; P: pesquisa; B: monitoramento da biodiversidade; C: gestão participativa; M: manejo pelas comunidades tradicionais e/ou locais; U: uso público; L: articulação na área protegida e C: concessões; **2.** Faixa de implementação segundo metodologia do Indimapa: baixa (entre zero e um), média (entre um e dois) e alta (entre dois e três).

Anexo 4

Tabela S4: Unidades de conservação avaliadas quanto à implementação, com nome completo, categoria segundo o SNUC, esfera administrativa, valor do Indimapa, faixa de implementação e representatividade (em termos do número de espécies alvo com ocorrência potencial em seus limites).

Nome UC	Categoria	Esfera	Indimapa	Faixa	Representatividade
Esec de Pirapitinga	Estação Ecológica	Federal	1,64	Média	38
Esec de Uruçuí-Una	Estação Ecológica	Federal	0,82	Baixa	22
Esec da Serra Das Araras	Estação Ecológica	Federal	1,91	Média	37
Parna Cavernas do Peruaçu	Parque	Federal	1,92	Média	33
Parna da Chapada dos Veadeiros	Parque	Federal	2,33	Alta	42
Parna da Serra da Canastra	Parque	Federal	2,00	Alta	46
Parna Serra das Confusões	Parque	Federal	1,73	Média	18
Parna da Serra do Cipó	Parque	Federal	2,50	Alta	48
Parna das Emas	Parque	Federal	2,18	Alta	37
Parna das Nascentes do Rio Parnaíba	Parque	Federal	1,92	Média	33
Parna de Brasília	Parque	Federal	1,75	Média	38
Parna de Sete Cidades	Parque	Federal	1,64	Média	10
Parna do Araguaia	Parque	Federal	1,33	Média	26
Parna dos Lençóis Maranhenses	Parque	Federal	1,77	Média	8
Rebio da Contagem	Reserva Biológica	Federal	1,45	Média	38
Parna da Chapada das Mesas	Parque	Federal	1,92	Média	24
Mona Estadual Gruta Rei do Mato	Monumento Natural	Estadual	2,36	Alta	40
PE do Rio Preto	Parque	Estadual	2,15	Alta	47
Esec Mata dos Ausentes	Estação Ecológica	Estadual	2,50	Alta	43
Esec de Corumbá	Estação Ecológica	Estadual	2,50	Alta	40
PE do Sumidouro	Parque	Estadual	1,75	Média	42
PE de Grão Mogol	Parque	Estadual	1,17	Média	36
PE do Biribiri	Parque	Estadual	2,08	Alta	46
PE da Serra Negra	Parque	Estadual	1,75	Média	47
PE do Pico do Itambé	Parque	Estadual	1,83	Média	45
PE de Sagarana	Parque	Estadual	1,77	Média	38
PE Águas do Cuiabá	Parque	Estadual	1,08	Média	35
PE do Quartelá	Parque	Estadual	1,08	Média	23
PE Furnas do Bom Jesus	Parque	Estadual	1,08	Média	40
PE de Vassununga	Parque	Estadual	1,92	Média	38
PE dos Campos Altos	Parque	Estadual	1,17	Média	44
PE Serra do Cabral	Parque	Estadual	1,75	Média	44
Mona Estadual Peter Lund	Monumento Natural	Estadual	2,42	Alta	41
PE da Lapa Grande	Parque	Estadual	2,15	Alta	43
PE Do Jalapão	Parque	Estadual	1,58	Média	33
PE do Cantão	Parque	Estadual	1,58	Média	20
PE do Lajeado	Parque	Estadual	1,75	Média	32

Mona Estadual das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins	Monumento Natural	Estadual	1,58	Média	22
PE Vale do Códó	Parque	Estadual	1,00	Média	27
PE da Serra de Caldas Novas	Parque	Estadual	2,62	Alta	39
PE de Terra Ronca	Parque	Estadual	2,08	Alta	38
PE da Serra Dourada	Parque	Estadual	1,42	Média	32
Esec de Acauã	Estação Ecológica	Estadual	2,50	Alta	39
PE Serra do Intendente	Parque	Estadual	1,92	Média	45
PE do Pau Furado	Parque	Estadual	1,17	Média	44
PE Mata do Limoeiro	Parque	Estadual	2,42	Alta	48
Mona Estadual Vargem da Pedra	Monumento Natural	Estadual	0,92	Baixa	39
Mona Estadual Experiência da Jaguará	Monumento Natural	Estadual	0,92	Baixa	39
Mona Estadual Lapa Vermelha	Monumento Natural	Estadual	1,36	Média	40
PE da Cerca Grande	Parque	Estadual	1,42	Média	39
Esec de Avaré	Estação Ecológica	Estadual	2,30	Alta	32
PE Serra do Sobrado	Parque	Estadual	0,83	Baixa	41
Esec de Mogi Guaçu	Estação Ecológica	Estadual	2,30	Alta	38
Revis Estadual dos Rios Tijuco e do Prata	Refúgio de Vida Silvestre	Estadual	1,15	Média	36
Mona Estadual de Santo Antônio	Monumento Natural	Estadual	0,92	Baixa	40
Mona Estadual Várzea do Lajeado e Serra Do Raio	Monumento Natural	Estadual	0,85	Baixa	46
Mona Estadual Várzea da Lapa	Monumento Natural	Estadual	1,09	Média	39
Esec Itapeva	Estação Ecológica	Estadual	2,30	Alta	27
Esec de Paranapanema	Estação Ecológica	Estadual	1,30	Média	31
Esec De Santa Maria	Estação Ecológica	Estadual	2,40	Alta	36
Esec de Santa Bárbara	Estação Ecológica	Estadual	2,30	Alta	30
Esec de Assis	Estação Ecológica	Estadual	1,80	Média	32
Esec de Angatuba	Estação Ecológica	Estadual	2,40	Alta	36
Revis Estadual de Macaúbas	Refúgio de Vida Silvestre	Estadual	0,38	Baixa	44
Revis Estadual Serra das Aroeiras	Refúgio de Vida Silvestre	Estadual	0,75	Baixa	40
PE de Botumirim	Parque	Estadual	0,50	Baixa	43
PE Serra Verde	Parque	Estadual	1,58	Média	41
Parna das Sempre Vivas	Parque	Federal	2,08	Alta	45
PE de Mirador	Parque	Estadual	0,92	Baixa	22
PE Serra da Boa Esperança	Parque	Estadual	1,33	Média	45
Parna Grande Sertão Veredas	Parque	Federal	2,45	Alta	42
Revis das Veredas do Oeste Baiano	Refúgio de Vida Silvestre	Federal	0,92	Baixa	39
Parna Da Serra Da Bodoquena	Parque	Federal	2,00	Alta	33
Esec Serra Geral do Tocantins	Estação Ecológica	Federal	2,42	Alta	36
Parna da Chapada dos Guimarães	Parque	Federal	2,08	Alta	37

Apa Cavernas do Peruaçu	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,10	Média	36
Apa da Bacia do Rio São Bartolomeu	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,30	Média	40
Apa Serra da Tabatinga	Área de Proteção Ambiental	Federal	0,30	Baixa	25
Apa Delta do Parnaíba	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,36	Média	8
Apa Ilhas e Várzeas do Rio Paraná	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,55	Média	27
Apa Morro da Pedreira	Área de Proteção Ambiental	Federal	2,27	Alta	49
Flona de Brasília	Floresta	Federal	1,33	Média	38
Flona de Cristópolis	Floresta	Federal	0,20	Baixa	23
Flona de Palmares	Floresta	Federal	2,00	Alta	11
Flona de Paraopeba	Floresta	Federal	1,36	Média	38
Flona da Mata Grande	Floresta	Federal	0,40	Baixa	33
Resex Marinha do Delta do Parnaíba	Reserva Extrativista	Federal	2,08	Alta	8
Resex Mata Grande	Reserva Extrativista	Federal	1,27	Média	16
Apa Estadual Bacia do Rio Pandeiros	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,70	Média	43
Apa Estadual das Águas Vertentes	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,36	Média	48
Apa Estadual da Escarpa Devoniana	Área de Proteção Ambiental	Estadual	2,45	Alta	31
Apa Estadual Cochá e Gibão	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,70	Média	42
Apa Estadual das Nascentes de Araguaína	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,91	Baixa	21
Apa Estadual Serra do Lajeado	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,91	Média	34
Apa Estadual do Jalapão	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,27	Média	34
Apa Estadual Ilha do Bananal Cantão	Área de Proteção Ambiental	Estadual	2,10	Alta	29
Resex do Ciriáco	Reserva Extrativista	Federal	1,92	Média	17
Resex Chapada Limpa	Reserva Extrativista	Federal	1,67	Média	10
Apa Estadual Corumbataí, Botucatu e Tejuapá -Perímetro Corumbataí	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,70	Média	43
Apa Estadual Ibitinga	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,27	Média	39
Apa Estadual da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,30	Baixa	41
Apa Estadual da Baixada Maranhense	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,27	Baixa	12
Apa Estadual de Upao- Açú, Miritibas, Alto Preguiças	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,27	Baixa	13
Apa Estadual da Foz do Rio Das Preguiças, Pequenos Lençóis, Região Lagunar Adjacente	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,27	Baixa	8

Apa Estadual dos Morros Garapenses	Área de Proteção Ambiental	Estadual	0,36	Baixa	11
Apa Estadual Corumbataí, Botucatu e Tejuapá -Perímetro Botucatu	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,55	Média	37
Apa Estadual Piracicaba, Juqueri Mirim, Área 1	Área de Proteção Ambiental	Estadual	1,70	Média	43
Floresta Estadual de Assis	Floresta	Estadual	1,75	Média	38
Rds Nascentes Geraizeiras	Reserva de Desenvolvimento Sustentável	Federal	1,00	Média	34
Resex da Baía Do Tubarão	Reserva Extrativista	Federal	1,50	Média	7
Apa Estadual Barreiro Rico	Área de Proteção Ambiental	Estadual	2,10	Alta	38
Apa Tanquã Rio Piracicaba	Área de Proteção Ambiental	Estadual	2,09	Alta	38
Arie Cerrado Pé-De-Gigante	Área de Relevante Interesse Ecológico	Federal	1,70	Média	38
Arie Buriti De Vassununga	Área de Relevante Interesse Ecológico	Federal	1,30	Média	37
Apa do Planalto Central	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,70	Média	41
Resex Lago do Cedro	Reserva Extrativista	Federal	0,91	Baixa	30
Apa Carste de Lagoa Santa	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,40	Média	44
Apa das Nascentes do Rio Vermelho	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,00	Média	41
Flona de Silvânia	Floresta	Federal	2,27	Alta	35
Apa da Bacia do Rio Descoberto	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,00	Média	37
Apa dos Meandros do Rio Araguaia	Área de Proteção Ambiental	Federal	0,82	Baixa	33
Apa Serra da Ibiapaba	Área de Proteção Ambiental	Federal	1,27	Média	15
Resex de Recanto das Araras de Terra Ronca	Reserva Extrativista	Federal	0,17	Baixa	38
Flona de Capão Bonito	Floresta	Federal	1,00	Média	33

Notas: 1. Siglas segundo SNUC: Estação Ecológica (Esec); Parque Nacional (Parna); Parque Estadual (PE); Monumento Natural (Mona); Reserva Biológica (Rebio); Refúgio de Vida Silvestre (Revis); Área de Proteção Ambiental (Apa); Reserva Extrativista (Resex); Reserva de Desenvolvimento Sustentável (Rds) e Floresta Nacional (Flona).