



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CDS/FACE-ECO/IB/IG/IQ

BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ANA CRISTINA DA SILVA SOARES

**ANÁLISE DA CONECTIVIDADE FUNCIONAL NA PAISAGEM DOS ENTORNOS
DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL DO BIOMA
CERRADO**

BRASÍLIA

2019

ANA CRISTINA DA SILVA SOARES

**ANÁLISE DA CONECTIVIDADE FUNCIONAL NA PAISAGEM DOS ENTORNOS
DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL DO BIOMA
CERRADO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Ricardo Bomfim Machado

BRASÍLIA

2019

FICHA CARTOGRÁFICA

SOARES, ANA CRISTINA DA SILVA

Título: Análise da conectividade funcional na paisagem dos entornos de Unidades de Conservação de Proteção Integral do bioma Cerrado

Orientação: Dr. Ricardo Bomfim Machado.

40 páginas.

Projeto final em Ciências Ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS –
Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2019.

1. Índice de Conectividade Integral - 2. Zona de Amortecimento – 3. Perda de hábitat - 4.
Uso da terra; SIG – 5. Análise espacial

ANA CRISTINA DA SILVA SOARES

**ANÁLISE DA CONECTIVIDADE FUNCIONAL NA PAISAGEM DOS ENTORNOS
DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL DO BIOMA
CERRADO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em ___/___/___

Banca examinadora

Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado

Universidade de Brasília - UnB

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Universidade de Brasília - UnB

Prof. Dr. Roberto Brandão Cavalcanti

Universidade de Brasília – UnB

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais Francisco das Chagas da Silva Soares e Maria Ducila da Silva, que não mediram esforços em me apoiar e incentivar por toda a minha vida.

Aos meus amados irmãos, Rodrigo Soares, Rayane Soares e Gabriel Soares, pelo grande incentivo e suporte por toda a minha formação acadêmica.

A todos meus grandes amigos, que me acompanharam e ofereceram apoio nos momentos críticos, além dos ótimos momentos compartilhados.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Bonfim Machado, que durante a elaboração deste trabalho se fez sempre presente e foi de grande importância para realização dessa pesquisa. Também sou grata aos docentes Dr. Gustavo Baptista e Dr. Roberto Cavalcanti por fazerem parte da banca examinadora.

Gostaria de agradecer a M.^a Tatiane Rolim Soares Ribeiro, Prof.^a. Dr.^a. Ruth Laranja, Prof. Dr. Roberto Cavalcante e Dr. Rafael Magris por me auxiliarem em minha formação acadêmica, a partir das orientações prestadas nos projetos de PIBIC dos quais participei.

E agradeço todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Dentre as principais causas da atual crise global da biodiversidade está a fragmentação, degradação e perda de hábitat, que são os mecanismos dominantes pelas quais a conectividade em uma paisagem é reduzida ou perdida. O Cerrado é um dos biomas mais ameaçados do mundo, sendo considerado um *hotspot* para a conservação da biodiversidade. Apesar de ser o segundo bioma brasileiro com maior número de Unidade de Conservação (UC), aproximadamente, 20% das espécies endêmicas e ameaçadas estão fora das áreas protegidas. Neste contexto, o objetivo principal do presente trabalho é analisar as mudanças na conectividade funcional da paisagem dos entornos de UC de Proteção Integral (PI) Federais localizadas no bioma cerrado, considerado o desmatamento registrado pelo PRODES Cerrado nos anos 2000 a 2018. O estudo foi desenvolvido no entorno de algumas UC de PI localizadas no Cerrado em regiões classificadas como área de desmatamento consolidada e área de fronteira do desmatamento. Os processamentos dos dados geográficos do território brasileiro, que compõem a base de dados do trabalho, foram realizados no sistema de informação geográfica ArcGis e no programa Conefor. A análise da conectividade funcional dos entornos das UCs de PI Federais consistiu no cálculo do delta do Índice Integral de Conectividade (dIIC) e das três frações do índice (dIICintra, dIICflux e dIICconnector). Utilizou-se a análise de variância bidirecional (*two way ANOVA*) para avaliar as mudanças na conectividade funcional nas paisagens dos entornos. Os resultados obtidos com o dIIC evidenciaram que a conectividade geral das paisagens dos entornos das UCs de PI Federais de estudo é maior na área de fronteira do desmatamento do que na área de desmatamento consolidado. Para o dIICintra houve uma variação significativa ($t = 5.434$, $p < 0,001$) entre os anos e as regiões. Já para o dIICconnector foi encontrado uma baixa variação ($t = 2.185$, $p < 0,05$). O dIICflux não apresentou variação significativa ($t = -0.094$, $p = 0.925$). Os resultados demonstraram que tanto a cobertura natural como a conectividade entre os fragmentos dos entornos sofreram perdas no período de 2000 a 2018, causando maior impacto na conectividade funcional da paisagem. A utilização de ferramentas geoespaciais é de suma importância para as análises e monitoramento das mudanças ocorridas nas paisagens do Cerrado. A manutenção da conectividade das paisagens fragmentadas pode proporcionar a persistência, a longo prazo, da fauna e flora diversa do Cerrado, além de reduzir o isolamento de hábitats relevantes.

Palavras-chave: Índice de Conectividade Integral; Zona de Amortecimento; Perda de hábitat; Uso da terra; SIG; Análise espacial.

ABSTRACT

Among the main causes of the current global biodiversity crisis are fragmentation, degradation, and habitat loss, which are the main mechanisms by which connectivity in a landscape is reduced or lost. The Cerrado is one of the most endangered biomes in the world and is considered a hotspot for biodiversity conservation. Despite being the second Brazilian biome with the most significant number of protected areas, approximately 20% of endemic and endangered species are outside protected areas. In this context, the present work aimed to analyze the changes in the functional connectivity of the surrounding landscape of the Federal Strictly Protected Areas (PI) located in the Cerrado biome. Based on PRODES Cerrado data, we considered the changes in natural vegetation coverage deforestation registered between 2000 to 2018. The study considered a 10 km buffer around selected PAs located in the Cerrado in regions classified as consolidated areas and deforestation frontiers areas. We tested three different hypotheses regarding the temporal and spatial changes on the connectivity index, being (1) the connectivity surrounding PAs is higher in the frontier than in the consolidated region; (2) the temporal variation of the connectivity is expected to be higher in frontier regions than in consolidated regions; and (3) the small fragments are more important to maintain the connectivity in consolidated regions than in the frontier. We conducted our analysis by using ArcGIS and the Conefor program. We calculated the Index of Integral Connectivity (IIC) for each selected protected area (three in consolidated regions and three in the frontier). We also compared the variation for the three components of the IIC: $dIIC_{intra}$, $dIIC_{flux}$, and $dIIC_{connector}$. We used a two-way analysis of variance (two way ANOVA) was used to assess changes in functional connectivity in the surrounding landscapes. Our results showed that the overall connectivity of the surrounding landscapes of the PA studied is greater in the frontier area than in the consolidated deforestation area. For $dIIC_{intra}$ there was a significant variation ($t = 5,434$, $p < 0.001$) between years and regions. For $dIIC_{connector}$, a low variation but still significant difference was found ($t = 2,185$, $p < 0.05$). The $dIIC_{flux}$ did not show significant variation between years or regions ($t = -0.094$, $p = 0.925$). The results showed that both the natural cover and the connectivity between the surrounding fragments suffered losses from 2000 to 2018, causing a greater impact on the functional connectivity of the landscape. The use of geospatial tools is essential for the analysis and monitoring of changes in the Cerrado landscapes. Maintaining the connectivity of fragmented landscapes can provide long-term persistence of the Cerrado's diverse fauna and flora and reduce the isolation of important habitats.

Keywords: Index of Integral Connectivity; Buffer zone; Habitat loss; Land use; GIS; Spatial Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1: Mapa de identificação das regiões de fronteira do desmatamento e desmatamento consolidado, classificadas por municípios do Cerrado. Fonte dos dados: PRODES Cerrado INPE – 2000-2018.	22
Figura 2: Mapa de localização das áreas de estudo.	23
Figura 3: Variação dos valores do dIIC por região e ano, apresentada por meio de quartis. 1- Região de fronteira do desmatamento, 2- Região de desmatamento consolidado.	29
Figura 4: Variação dos valores do dIICflux e dIICintra por região e ano, apresentada por meio de quartis. 1- Região de fronteira do desmatamento, 2- Região de desmatamento consolidado.	30
Figura 5: Visualização da área de cobertura natural perdida nos entornos das UCs PI Federais de estudo presentes na região de fronteira do desmatamento e região de desmatamento consolidado.	30
Figura 6: Variação da cobertura natural dos entornos (dA) e da área de conectividade equivalente (dEC) entre 2000 e 2018. PNN (Parque Nacional Nascente do Rio Parnaíba), PNCM (Parque Nacional da Chapada das Mesas), RVISV (REVIS Veredas do Oeste Baiano), PNSC (PARNA da Serra da Canastra), PNB (PARNA de Brasília) e PNSV (PARNA das Sempre Vivas).	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das Unidades de Conservação de Proteção Integral Federais selecionadas para análises de conectividade.....	24
Tabela 2: Descrição das camadas de dados processados.....	24
Tabela 3: Comparação das mudanças do dEC e dA por UC e região. 1- Região de fronteira do desmatamento, 2- Região de desmatamento consolidado.	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Área Protegida
i³GEO	Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento
ICMBio	Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PARNA	Parque Nacional
PI	Proteção Integral
PPCerrado	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento
REVIS	Refúgio de Vida Silvestre
SNUC	Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza
UC	Unidade de Conservação
UNEP-WCMC	World Conservation Monitoring Centre
ZA	Zona de Amortecimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral	15
1.2 Objetivos específicos	16
1.3 Hipóteses	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Conectividade funcional da paisagem	16
2.2 Zona de amortecimento	18
2.3 Bioma Cerrado	20
3 MÉTODOS	21
3.1 Área de estudo	21
3.2 Coleta de dados	24
3.3 Análise dos dados	25
3.3.1 Análise da conectividade funcional	25
3.3.2 Análises estatística	28
4 RESULTADOS	29
5 DISCUSSÃO	32
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
7 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos habitats naturais está presente em diversas regiões do planeta (RUDNICK et al., 2012). Dentre as principais causas da atual crise global da biodiversidade está a fragmentação, degradação e perda de habitat, que são os mecanismos dominantes pelas quais a conectividade é reduzida ou perdida (RUDNICK et al., 2012). A conectividade está relacionada com a capacidade da estrutura e composição da paisagem facilitar ou restringir a dispersão de genes, propágulos (polén e sementes), indivíduos e populações (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007; RUDNICK et al., 2012).

Diferentes índices possibilitam a análise de conectividade de uma paisagem em seu ecossistema. No entanto, em Pascual-Hortal e Suara (2006) demonstrou-se que o Índice Integral de Conectividade (IIC) apresenta as propriedades de um índice ideal, por reagir a todos os tipos de mudanças na paisagem. Esta métrica avalia a importância de cada fragmento para manter a conectividade geral da paisagem, a partir da combinação de atributos dos fragmentos com os números de links de conexão no caminho mais curto entre cada par de fragmento (SAURA; TORNÉ, 2009). Os fragmentos e os links de conexão podem contribuir com a conectividade e disponibilidade de habitats, a partir de três componentes essenciais - *intra*, *flux* e *conector*- que são calculados pelo delta da métrica IIC. O *dIICintra* mede a conectividade dentro do próprio fragmento; o *dIICflux* mede o total de conexão de um fragmento e o *dIICconnector* mede a contribuição de um fragmento para a conectividade entre os demais fragmentos, que atuam como corredores ou trampolins ecológicos (SAURA; RUBIO, 2010). Estes índices avaliam a conectividade funcional da paisagem, que descreve como os organismos se movimentam pela paisagem, a partir da interação entre as características ecológica das espécies com as características estruturais da paisagem (RUDNICK et al., 2012).

Com o aumento acelerado das taxas de desmatamento em todo o mundo, as Áreas Protegidas (AP) estão cada vez mais tornando-se refúgios para as espécies ameaçadas (LAURANCE et al., 2012). No entanto, as APs são capazes de reduzir, mas não de impedir, o desmatamento, a mudança no uso da terra e outras pressões sobre a biodiversidade que ocorrem em locais não protegidos (SAURA et al., 2017). Segundo Laurece et al. (2012), a viabilidade ecológica das áreas tropicais protegidas será determinada por mudanças ambientais tanto internamente quanto ao redor das APs.

Em relação à conectividade das APs em escala global, Saura et al. (2017) identificaram que as redes de áreas de proteção apresentam níveis intermediários de conectividade para maioria das espécies terrestres. Em Santini et al. (2016), constatou-se que as APs do Brasil são relevantes para a promoção da conectividade continental. No entanto, o nível da conectividade apresenta disparidades entre os diversos biomas do país, observando-se baixos níveis de conectividade nas APs da Mata Atlântica, do Cerrado e da Caatinga (SAURA et al., 2017).

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando cerca de 25% do território nacional (BRASIL, 2011b). É um dos biomas mais biodiversos do Brasil, com 30% da biodiversidade brasileira (FRANÇOSO et al., 2015). Apesar de ser a maior e mais rica savana neotropical do mundo (MYERS et al., 2000), o Cerrado está entre os *hotspots* para a conservação da biodiversidade por sofrer com constantes e drásticas modificações antrópicas, bem como por apresentar alta taxa de espécies endêmicas: mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados (MYERS et al., 2000; STRASSBURG et al., 2017). Sabe-se ainda que muitas espécies do Cerrado permanecem desconhecidas, no entanto, importantes espécies de vertebrados presente no bioma são impactadas por severas perdas de hábitat (MACHADO et al., 2008; MMA, 2018; STRASSBURG et al., 2017).

De acordo com o monitoramento do desmatamento do PPCerrado (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado), apenas 54% da área do Cerrado é de remanescente de vegetação nativa (BRASIL, 2018). Tais áreas de vegetação nativa remanescente estão distribuídas de maneira não uniforme, sendo que a porção sul encontra-se bastante fragmentada, mas com taxas de desmatamento mais estabilizadas ou decrescentes; e a porção norte do bioma, mais dinâmica e com taxas de desmatamento maiores na atualidade.

Segundo dados do Projeto Monitoramento do Cerrado – PRODES (<http://terrabilis.dpi.inpe.br>), os estados do Maranhão e Tocantins são aqueles onde são registrados os maiores níveis de desmatamento no Cerrado, enquanto que o Mato Grosso do Sul e o estado de São Paulo são aqueles com as menores taxas de desmatamento. Com isto, podem ser observadas regiões onde a ocupação humana ainda avança sobre as áreas nativas, ou seja, as fronteiras dos desmatamentos, e outras regiões onde esse avanço é menor, ou seja, regiões de ocupação consolidada. Dentre as principais causas do desmatamento no bioma estão a monoculturas, produção de commodities agrícolas, pastagens, criação de reservatórios hidrelétricos e expansão das áreas urbanas (FRANÇOSO et al., 2015).

Uma das maneiras de frear os desmatamentos é por meio do estabelecimento de áreas protegidas. No Brasil, as áreas protegidas são regidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído por meio da Lei 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000). O SNUC é um dos instrumentos de gestão ambiental do tipo “comando e controle” aplicado no Brasil, que estabelece critérios e normas para a criação, implementação e gestão das unidades de conservação (BRASIL, 2000). Este tipo de instrumento corresponde ao sistema onde o Poder Público estabelece os padrões e monitora a qualidade ambiental, regulando as atividades e aplicando sanções e penalidades, via legislação e normas (PIASENTIN; GÓIS, 2016).

O SNUC é constituído pelo conjunto das Unidades de Conservação (UC) federais, estaduais, municipais e particulares, que têm como principal objetivo a conservação da biodiversidade nacional em longo prazo (BRASIL, 2000). As UCs são espaços territoriais que apresentam características naturais relevantes delimitados para conservação (BRASIL, 2000). O SNUC divide as UCs em dois grupos: UC de Proteção Integral (PI), com o objetivo preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, e UC de Uso Sustentável, com o objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

Atualmente, 29,42% do Brasil são cobertos por algum tipo de área protegida (UNEP-WCMC; IUCN, 2019). O Cerrado é o segundo bioma brasileiros com maior quantidade de UCs, porém representam somente 8,6% da extensão do bioma (VIEIRA et al., 2019). Se consideramos apenas a fração coberta pela vegetação nativa, esta porcentagem cai para 6,5% (FRANÇOSO et al. 2015). Segundo Carranza et al. (2014) as UCs criadas no Cerrado contribuem para a redução da perda de hábitat, sendo as UCs de PI Federais as mais eficientes na proteção da biodiversidade do Cerrado. No entanto, estão em menor número quando comparadas às UCs municipais e estaduais (FRANÇOSO et al., 2015; VIEIRA et al., 2019).

Segundo Laurance et al. (2012), as áreas protegidas tropicais geralmente estão ecologicamente ligadas aos hábitats vizinhos e que uma falha em mitigar a perda e a degradação em larga escala desses hábitats pode aumentar drasticamente a probabilidade de sérios declínios da biodiversidade. De acordo com estudos que avaliaram o desmatamento dentro e fora das UCs do bioma Cerrado, identificou- que a fragmentação é maior no entorno destas áreas do que dentro de seus limites (CARRANZA et al., 2014, FRANÇOSO et al., 2015). Isto representa

impactos diretos na fauna local, visto que, aproximadamente, 20% das espécies endêmicas e ameaçadas estão fora das áreas protegidas (MACHADO et al., 2004).

O SNUC determina que as unidades de conservação, exceto a Área de Proteção Ambiental (APA) e a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), devem possuir Zonas de Amortecimento - ZA (BRASIL, 2000). As ZA caracterizam-se como o “*entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade*” (BRASIL, 2000). Os limites e as respectivas normas da zona de amortecimento poderão ser estabelecidos no ato de criação da unidade ou no seu plano de manejo (BRASIL, 2000). Atualmente, somente 30,2% das unidades de conservação de proteção integral e 7,5% das unidades de uso sustentável possuem plano de manejo (IBGE, 2015).

O aumento no número de pesquisas que analisam as mudanças no interior e exterior das UCs da Cerrado são de grande importância para maior entendimento da dinâmica da paisagem dessas áreas. Considerando-se que os processos de fragmentação alteram não apenas o tamanho dos habitats, mas também outras características da paisagem - como a geometria dos fragmentos ou a quantidade de habitat sob efeito de borda - podem ser de fundamental importância para espécies, comunidades e funções ecológicas (RUDNICK et al., 2012). Além disso, os sistemas de áreas protegidas existentes em todo o mundo contêm uma amostra tendenciosa da biodiversidade, geralmente por grande parte das AP serem criadas em de lugares remotos com baixa produtividade ou áreas inadequadas para atividades comerciais (MARGULES; PRESSEY, 2000; SAURA et al., 2017; VIEIRA et al., 2019). Na maior parte dos planos de criação de “áreas protegidas”, não é dada a devida atenção ao papel da conectividade em um amplo contexto de rede de UCs, ou à possibilidade de movimentação e deslocamentos de espécies e de outros fluxos ecológicos de uma UC para outra (SAURA et al., 2017). Tal omissão pode afetar a representatividade da variedade da biodiversidade do Cerrado e a persistência a longo prazo das espécies e outros elementos da biodiversidade da paisagem.

1.1 Objetivo geral

O objetivo principal do presente trabalho é analisar as mudanças na conectividade funcional da paisagem dos entornos de Unidades de Conservação de Proteção Integral Federais localizadas no bioma cerrado, considerado o desmatamento registrado pelo PRODES Cerrado nos anos 2000 a 2018.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar e classificar as áreas desmatadas no Cerrado.
- Identificar as áreas desmatadas nos entornos das UCs de PI Federais do Cerrado nos anos 2000 e 2018.
- Analisar as mudanças na conectividade funcional das UCs de PI Federais do Cerrado nos anos e 2000 e 2018.
- Comparar a variação da conectividade com a variação da área natural dos entornos das UCs de PI Federais do Cerrado.

1.3 Hipóteses

H1: A conectividade na área de fronteira é maior que na área consolidada.

H2: A variação da conectividade na área de fronteira é maior que na área consolidada.

H3: O peso do conector é maior na área consolidada que na área de fronteira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conectividade funcional da paisagem

A fragmentação pode ser definida com a perda da continuidade de um hábitat. Os efeitos desse processo podem ocasionar a perda do hábitat original, o aumento do número de fragmentos, efeito de bordas, perda da conectividade, diminuição no tamanho e isolamento das manchas de vegetação nativa (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). A fragmentação também promove a expansão de outras formas de uso da terra, aumentando a heterogeneidade do mosaico, afetando a permeabilidade da matriz aos fluxos biológicos (METZGER, 2006).

O potencial de dispersão e colonização de uma espécie pode ser afetado durante o processo de fragmentação devido a criação de barreiras entre as machas de hábitats (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). Segundo Ferreiro-Medina e Vieira (2007), a capacidade de dispersão dos animais é um dos fatores mais importantes na dinâmica populacional em paisagens fragmentadas. O entendimento de como as espécies percebem os componentes estruturais da paisagem (fragmentos, corredores e matrizes) é necessário para compreender como é determinada a persistência desta espécie em uma paisagem fragmentada (METZGER, 2006).

As interações das espécies com a estrutura da paisagem influenciam a capacidade de indivíduos e populações se deslocarem entre os componentes da paisagem para encontrar recursos-chave, como comida, água ou parceiros reprodutores (RUDNICK et al., 2012). Neste sentido, a conectividade é considerada um elemento vital da paisagem já que é crítica para a sobrevivência da população e para a dinâmica populacional (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). Desta maneira, a conectividade é dada pela capacidade dos componentes da paisagem facilitarem os fluxos biológico, reconhecendo que as heterogeneidades da paisagem têm influência sobre este fluxo (METZGER, 2006).

Há dois tipos de conectividade, a estrutural e a funcional. A conectividade estrutural descreve as características físicas e a disposição dos elementos em uma paisagem. É baseada completamente na estrutura da paisagem, ignorando a respostas dos organismos (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). Já a conectividade funcional descreve como os organismos se movimentam pela paisagem. É resultante das maneiras pelas quais as características ecológicas do organismo, como preferência de habitat e capacidade de dispersão, interagem com as características estruturais da paisagem (RUDNICK et al., 2012). Desta maneira, a perda da conectividade pode afetar as espécies em distintos níveis, por depender da sensibilidade de um indivíduo em relação as diferentes classes uso e ocupação do solo de uma matriz.

A partir da Teoria dos Grafos é possível modelar a conectividade funcional de uma paisagem para uma determinada espécie (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). Um grafo é um dado espacial composto por um conjunto de nós ou vértices conectados entre si, a partir das arestas que representam a probabilidade de uma espécie dispersar-se em uma determinada distância, indicando a existência de um fluxo ecológicos entre os nós (URBAN; KEITT, 2001). A representação de um grafo nos permite mesclar processo populacional, como a dispersão, com padrão dos componentes da paisagem (tamanho, forma e localização) para chegar ao processo de análise da conectividade, tanto para paisagens inteiras quanto para fragmentos individuais (URBAN; KEITT, 2001).

A conectividade está inserida nas etapas do planejamento sistemático das unidades de conservação (MARGULES; PRESSEY, 2000). Para garantir a representatividade e persistência das áreas de proteção em todo o mundo, o planejamento de conservação deve lidar não apenas com a localização das reservas aos padrões físicos e biológicos naturais, mas também com o *design* das reservas, que inclui variáveis como tamanho, conectividade, replicação e alinhamentos de limites (MARGULES; PRESSEY, 2000).

A abordagem da teoria dos grafos possibilita a conexão entre os organismos e a paisagem, desta maneira proporciona o estabelecimento de estratégias de conservação para diferentes espécies com base nas suas dispersões entre os fragmentos, e pode ser útil na escolha de áreas prioritárias para conservação ou restauração (FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007). A Ecologia Comportamental e a Ecologia de Paisagens se complementam, com isso, a ligação entre essas duas áreas é necessária por contribuir para a compreensão, na escala da paisagem, da informação disponível para um animal em quanto se desloca em seu ambiente, e como esta informação é usada na seleção de uma mancha ou um habitat (LIMA; ZOLLNER, 1996, apud FERREIRO-MEDINA; VIEIRA, 2007).

2.2 Zona de amortecimento

O Plano de Manejo de uma unidade de conservação deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir da data de sua criação (BRASIL, 2000). Considere-se o zoneamento uma das ferramentas mais importantes do plano de manejo, por organizar espacialmente as zonas sob diferentes graus de proteção e regras de uso (MMA, 2019). A zona de amortecimento é uma das zonas delimitadas no zoneamento de uma UC, com o objetivo de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (BRASIL, 2000). De acordo com Art. 27, § 1º do SNUC, “O Plano de Manejo deve abranger a área da unidade de conservação, sua zona de amortecimento e os corredores ecológicos, incluindo medidas com o fim de promover sua integração à vida econômica e social das comunidades vizinhas” (BRASIL, 2000).

A partir do SNUC foi estabelecido a exigência da zona de amortecimento no entorno de 10 categorias de unidades de conservação, que estão distribuídas nos grupos das UCs de proteção integral (Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre) e de uso sustentável (Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna e Reserva de Desenvolvimento Sustentável).

O órgão responsável pela administração da UC estabelece as normas específicas que regulamentam a ocupação e uso dos recursos presentes nas ZA (BRASIL, 2000). O licenciamento de empreendimentos com significativos impactos ambientais que possam afetar ZA só poderá ser concedido após autorização do órgão responsável pela administração da UC (BRASIL, 2000, Art. 36, §3º). Conforme definido no SNUC, os órgãos responsáveis pela administração das UCs são o órgão executores estabelecidos no inciso III, Art. 6º.

III - órgãos executores: o Instituto Chico Mendes e o Ibama, em caráter supletivo, os órgãos estaduais e municipais, com a função de implementar o SNUC, subsidiar as propostas de criação e administrar as unidades de conservação federais, estaduais e municipais, nas respectivas esferas de atuação (BRASIL, 2000).

Os entornos das UCs na Resolução CONAMA nº 13, de 6 de dezembro de 1990 eram definidos como áreas circundantes, estabelecendo a obrigatoriedade de licenciamento de qualquer atividade que possa afetar a biota em um raio de 10 km desde o limite da UC. Esta resolução era reportada para todas as categorias de UCs, mesmo que não apresentassem ZA definida (BRASIL, 1990). No entanto, a Resolução nº13/1990 foi revogada, a partir da Resolução nº 428, de 17 de dezembro de 2010, que estabeleceu novas regras para os entornos das UCs com base nos regimentos da Lei do SNUC delimitados para as zonas de amortecimento. A Resolução nº 428/2010 estabelece a área da ZA em um raio de 3km da borda da UC, cujo a ZA não esteja estabelecida no plano de manejo, sendo determinada para o licenciamento de empreendimentos de significativo impacto ambiental, com fundamento em Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), (BRASIL, 2010). Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA/RIMA, o limite da zona de amortecimento é de 2 km (BRASIL, 2010).

A Resolução nº 428/2010 estabelece que os órgãos responsáveis pela administração das UCs federais, estaduais e municipais, têm o prazo de cinco anos contados da publicação da resolução para definir os planos de manejos das UCs que ainda não os possuem (BRASIL, 2010; CAMINHO, 2010). Após esse prazo, para as UCs sem plano de manejo, a zona de amortecimento, com a faixa de 3 km e 2km, passa a não existir (BRASIL, 2010; CAMINHO, 2010).

Segundo Beiroz (2015) a maior parte das pressões antrópicas sofridas por UCs é oriunda dos seus entornos. E conforme identificado por pesquisas realizadas em UCs do Cerrado, o desmatamento é maior no entorno que dentro das UCs (CARRANZA et al., 2014; FRANÇOSO et al., 2015). Com isso, a redução da área submetida à gestão da UC em seu entorno prejudica o estabelecimento de corredores ecológicos e a gestão integrada de múltiplas UCs em ambientes que apresentam constantes fragmentação de habitats (BEIROZ, 2015). Para garantir a efetividade da implementação da ZA é preciso compreender as demandas e os desafios presentes nas vizinhanças das unidades (BEIROZ, 2015).

De acordo com Margules e Pressey (2000), se as APs se tornarem remanescentes de hábitat natural cercado por hábitats atropizados, como terras cultiváveis ou pastagens, as mudanças provocadas pelo isolamento e exposição têm implicações para a persistência de espécies dentro delas. Se as rotas de dispersão são bloqueadas ou alteradas, os organismos podem experimentar taxas mais altas de mortalidade ao tentar dispersar, ou podem ter seus fluxos de deslocamento e fluxos gênicos completamente interrompidos, levando a densidades populacionais insustentáveis em manchas remanescentes, resultando em aumentos na mortalidade e endogamia (RUDNICK et al., 2012).

2.3 Bioma Cerrado

O Cerrado é um bioma muito antigo, tendo se originado há mais de 80 milhões de anos; porém, o Cerrado que conhecemos hoje configurou-se como tal há cerca de 4 milhões de anos, e seguramente passou por muitas mudanças ao longo desse período (FERNANDES et al., 2016). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, e seus limites se conectam com quatro outros grandes biomas: o Pantanal, a Caatinga, a Mata Atlântica e a Amazônia (BRASIL, 2011b; FERNANDES et al., 2016). O Cerrado é a mais diversificada savana tropical do mundo: o clima dessa região é estacional, alternando um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro (KLINK; MACHADO, 2005).

As características do solo do Cerrado é um dos principais fatores que promovem as variações fisionômicas no bioma (FERNANDES et al., 2016). São reconhecidas ao menos onze fisionomias no Cerrado, sendo que as formações vegetais do Cerrado podem ser agrupadas em pelo menos três tipos distintos: campestre, savânica e florestal (FERNANDES et al., 2016). De acordo com os dados do TerraClass para o ano 2013, foi identificado que o desmatamento no Cerrado teria atingido 46% do bioma, restando ainda 54% de sua vegetação nativa (BRASIL, 2018). É um dos biomas que mais sofre alterações com a ocupação humana (BRASIL, 2011b)

A fauna e flora podem variar de acordo com cada fitofisionomia. Sua riqueza conhecida compreende 199 espécies de mamíferos e cerca de 837 espécies de aves. Além disso, números de espécies de peixes (1200 espécies), répteis (180 espécies) e anfíbios (150 espécies) são considerados elevados; no entanto, pelo menos 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção (BRASIL, 2019). Em Klink e Machado (2005), cita-se que 44% da flora do Cerrado é endêmica, e o número de plantas vasculares é superior àqueles

encontrados na maioria das regiões do mundo: plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas e cipós somam mais de 7.000 espécies.

Além da diversidade biológica, o Cerrado também é reconhecido por sua diversidade social e cultural, marcada por grande variedade de povos indígenas e comunidades tradicionais, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição básica para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica (FERNANDES et al., 2016). Exemplo de comunidades tradicionais presentes no Cerrado são os quilombolas, os geraizeiros, os vazantes, e os catingueiros de coco babaçu (FERNANDES et al., 2016).

3 MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no entorno de algumas unidades de conservação de proteção integral localizadas no Cerrado em áreas classificadas como de desmatamento consolidado e de desmatamento de fronteira. Cruzamos os dados de desmatamentos disponibilizados pelo projeto PRODES Cerrado - INPE (anos 2000 e 2018) com os limites municipais (Tabela 1). O PRODES Cerrado consiste no mapeamento do desmatamento para toda extensão do Cerrado de 2000 a 2018, fornecendo uma série histórica bienal da remoção antrópica da vegetação natural para o período de 2000 a 2012 e anual para os anos de 2013 a 2018 (<http://www.obt.inpe.br/cerrado>). Os limites municipais foram utilizados na classificação das regiões de fronteira e consolidada por serem uma divisão política que apresenta atribuições relacionadas à gestão ambiental territorial (BRASIL, 2011a). Os municípios do Cerrado foram classificados da seguinte forma: aqueles que apresentaram valores de desmatamento acima da média geral do bioma e mais um desvio padrão foram definidos como “área de fronteira” e aqueles que apresentaram desmatamentos abaixo desse limite foram classificados como “área consolidada” (Figura 1).

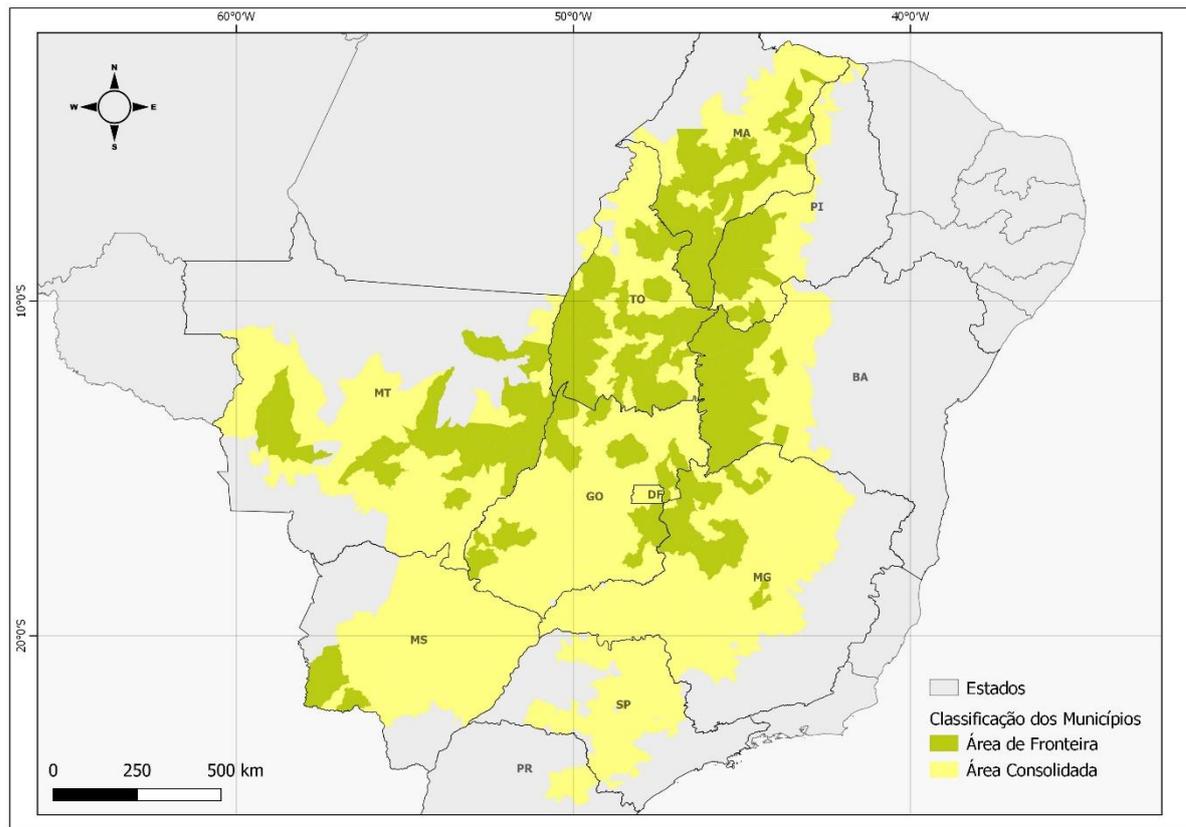


Figura 1: Mapa de identificação das regiões de fronteira do desmatamento e desmatamento consolidado, classificadas por municípios do Cerrado. Fonte dos dados: PRODES Cerrado INPE – 2000-2018.

A partir da classificação dos municípios foram selecionadas seis Unidades de Conservação de Proteção Integral Federais, sendo três unidades na região de fronteira e três na região consolidada (Figura 2). As UCs da região de fronteira foram o PARNA da Chapadas das Mesas, PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba e REVIS Veredas do Oeste Bahiano. As UCs da região consolidada foram PARNA de Brasília, PARNA das Sempre Vivas e PARNA da Serra da Canastra. Além da localização no bioma, essas unidades foram escolhidas em função de atributos semelhantes, como categoria de manejo, tamanho, dentre outros (Tabela 1).

Os entornos foram delimitados a partir da criação de *buffers*, zona de influência, de 10km que circundam os limites das UCs. A distância de 10km foi utilizada para padronizar o tamanho da área dos entornos, pois somente a PARNA da Serra da Canastra e a PARNA das Sempre Vivas que contém zonas de amortecimentos delimitadas no plano de manejo (ICMBIO, 2019). A identificação e separação dos polígonos de cobertura natural presente nos entornos, em 2000 e 2018, foi realizada a partir do cruzamento da série histórica do PRODES Cerrado com os *buffers* de 10 km.

O mapeamento da cobertura natural para o bioma Cerrado realizado pelo PRODES foi executado a partir da classificação de imagens de satélites com resolução espacial de 15 a 30 m (BRITO et al., 2018). Desta forma, os tipos de classes de cobertura natural que podem estar presentes nos entornos são: naturais não vegetada, áreas alagadas, queimada ou cicatrizes de queimadas, formações florestais/ arbóreas, formações campestres/ pouco arborizadas, e áreas em regeneração ou uso não intensivo (BRITO et al., 2018). As áreas antropizadas que podem estar nos entornos das UC seguindo a metodologia PRODES são: área agrícola e de extrativismo, área de pastagem com uso extensivo, mineração, queimadas em áreas antrópicas, área urbana e reflorestamento.

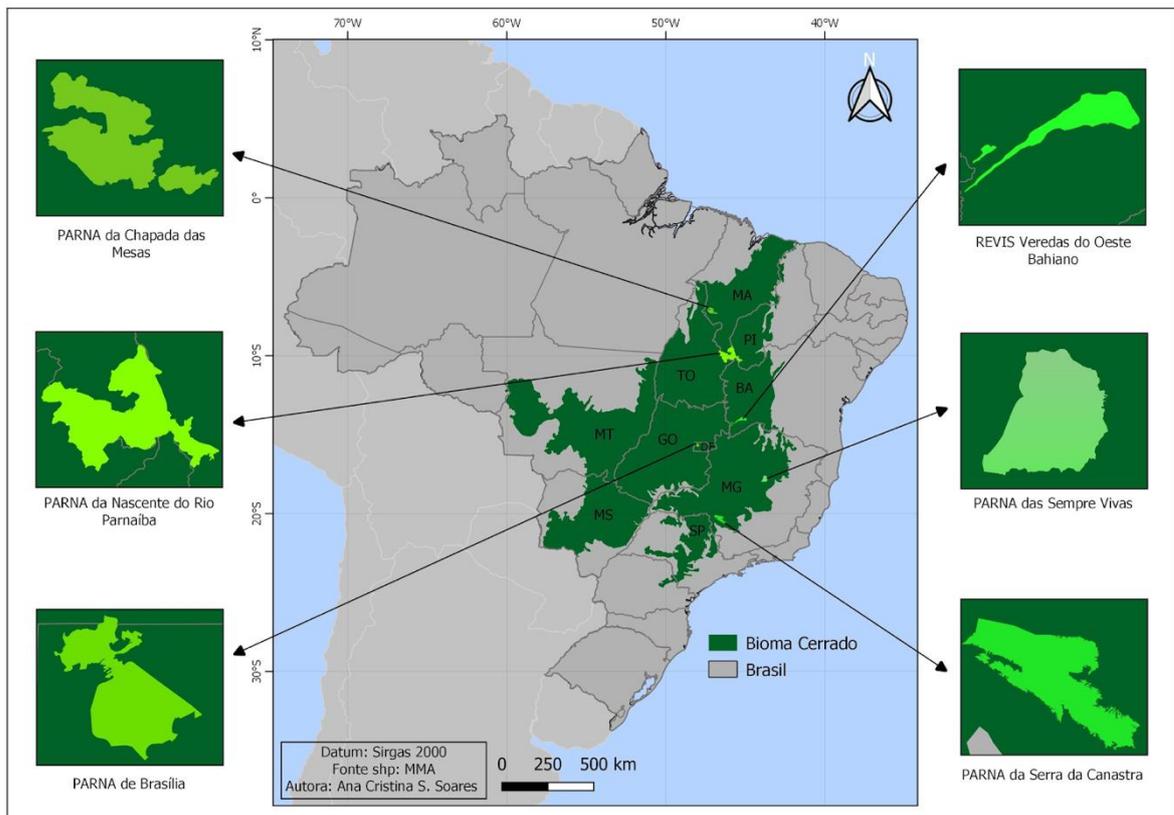


Figura 2: Mapa de localização das áreas de estudo.

Na tabela 1 é possível observar informações básicas sobre as UC selecionadas para o estudo, como ano de criação, tamanho e a área total de vegetação natural no entorno, nos anos 2000 e 2018.

Tabela 1: Descrição das Unidades de Conservação de Proteção Integral Federais selecionadas para análises de conectividade.

Região	Categoria/ Nome	Ano de Criação	Tamanho (ha)	Vegetação no entorno 2000 (ha)	Vegetação no entorno 2018 (ha)
Consolidada	PARNA de Brasília	1961	42.355,54	73.463	65.103
	PARNA da Serra da Canastra	1972	197.971,96	106.541	94.331
	PARNA das Sempre Vivas	2002	124.154,47	167.533	154.974
Fronteira	PARNA Chapadas das Mesas	2005	159.953,78	266.340	231.596
	PARNA Nascentes do Rio Parnaíba	2015	729.774,18	689.123	604.098
	REVIS Veredas do Oeste Bahiano	2002	128.048,99	315.856	234.621

3.2 Coleta de dados

A base de dados do presente trabalho é composta por dados adquiridos a partir de plataformas *web*, que fornecem dados geográficos do território brasileiro (Tabela 2). Os processamentos dos dados foram realizados no sistema de informação geográfica ArcGis 10.2.1 e no Programa R (R Core Team, 2017).

Tabela 2: Descrição das camadas de dados processados.

Dados	Fonte do conjunto de dados	Descrição
PRODES Cerrado	TerraBrasilis (http://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/)	Dados do desmatamento acumulado no bioma Cerrado (2000-2018).
Bioma Cerrado	i3GEO MMA (http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm?n1mab7f9qanjehui9lm5dabde6)	Limite dos biomas brasileiro.
UC	MMA – Ministério do Meio Ambiente (http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm)	Limites das Unidades de Conservação de Proteção Integral Federais.
Municípios	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html)	Limites dos municípios do Brasil.

3.3 Análise dos dados

A análise da variação da conectividade funcional nas paisagens dos entornos das UCs de PI Federais foi realizada em duas etapas: (i) cálculos das métricas da conectividade funcional para as paisagens presentes nos entornos em 2000 e 2018; e (ii) análise da variância da conectividade funcional entre os anos 2000 e 2018, entre a região de fronteira do desmatamento e a região de desmatamento consolidado, e entre os anos e as regiões.

3.3.1 Análise da conectividade funcional

A análise da conectividade funcional dos entornos da UCs de PI Federais consistiu no cálculo do delta do Índice Integral de Conectividade (dIIC) e das três frações do índice (dIIC_{intra}, dIIC_{flux} e dIIC_{connector}). O IIC é um modelo binário, que considera a existência ou não de conectividade entre dois fragmentos, possibilitando a avaliação da importância de um fragmento para a conectividade geral da paisagem ou para conectividade entre combinações de fragmentos (PASCUAL-HORTAL; SAURA, 2006; SAURA; TORNÉ, 2009). Este índice baseia-se na Teoria dos Grafos e no conceito de medição da disponibilidade de habitats na paisagem (PASCUAL-HORTAL; SAURA, 2006; SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007; SAURA; RUBIO, 2010). O IIC varia de 0 a 1 e aumenta com a conectividade.

É dado por:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \times a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad \text{eq.1}$$

onde n é o número total de nós na paisagem, a_i é a área de cada fragmento e nl_{ij} é o número de *links* no caminho de menor custo entre os fragmentos i e j . A_L é a área total da paisagem, compreendendo as áreas com fragmentos e sem fragmentos (SAURA; TORNÉ, 2012; ARIMORO, 2015).

O dIIC quantifica a variação relativa no valor do IIC de conectividade geral para toda a paisagem após a perda de um nó/fragmento específico (SAURA; RUBIO, 2010; SAURA; TORNÉ, 2012). É dado por:

$$dIIC(\%) = \frac{IIC - IIC^i}{IIC} \times 100 \quad \text{eq.2}$$

onde IIC corresponde ao valor do índice global calculado para a paisagem considerando todos os fragmentos, e IIC^i é o valor global do índice depois da remoção do fragmento i da paisagem (SAURA; TORNÉ, 2012; ARIMORO, 2015).

Segundo Saura e Rubio (2010), os valores de dIIC podem ser particionados em três frações distintas, considerando as maneiras pelas quais um elemento da paisagem (nós ou links) pode contribuir para a conectividade e disponibilidade de habitat ($dIIC = dIIC_{intra} + dIIC_{flux} + dIIC_{connector}$). O $dIIC_{intra}$ corresponde à contribuição do fragmento em termos de conectividade dentro do próprio fragmento (*interpatch*). Desta forma, o $dIIC_{intra}$ é independente das conexões entre fragmentos, das distâncias de dispersão das espécies focais e do isolamento do fragmento na paisagem (SAURA; RUBIO, 2010). O $dIIC_{flux}$ corresponde a quão bem o fragmento está conectado a outros fragmentos na paisagem. No entanto, o $dIIC_{flux}$ não avalia a importância do fragmento para manter a conectividade entre os demais fragmentos (SAURA; RUBIO, 2010). O $dIIC_{connector}$ avalia a contribuição de um fragmento ou link para a conectividade entre outros fragmentos, que atuam como elemento de conexão ou trampolim (SAURA; RUBIO, 2010).

As métricas acima (eq.1 e eq.2) foram calculadas no *software* Conefor 2.6 (<http://www.conefor.org>) para quantificar os aspectos estruturais e funcionais da conectividade da paisagem dos entornos. O Conefor é um *software* de análise de ecologia espacial que permite quantificar a importância de um fragmento e das conexões funcionais para a manutenção ou melhoria da conectividade da paisagem, além de avaliar os impactos na conectividade causados por mudanças na matriz (SAURA; TORNÉ, 2009).

Os arquivos de nós e de *links* são exigidos como *input* no Conefor 2.6. Estes dados correspondem aos grafos da paisagem, que é conjunto de nós/fragmentos e *links*/arestas, de modo que cada *link* conecta dois nós (PASCUAL-HORTAL; SAURA, 2006). A partir dos arquivos vetoriais da cobertura natural presente nos *buffers* de 10 km foram gerados, no Conefor *input* para o ArcGIS, os arquivos de texto dos nós e das conexões para os anos 2000 e 2018. Assim, foram produzidos quatro arquivos para cada entorno de estudo. As conexões foram calculadas a partir da borda dos fragmentos, com os *links* caracterizados pela distância euclidiana (linear) entre os nós.

Delimitamos arbitrariamente uma distância de dispersão de 1 km, pois no modelo de conexão binária, um *link* entre dois nós é delimitado a partir da distância de dispersão definida (SAURA; TORNÉ, 2009). A utilização da distância dispersão de 1 km foi baseada na

capacidade de deslocamento de uma espécie genérica pela matriz, este valor pode ser considerado para qualquer espécie que tenha capacidade de se dispersar até uma distância mínima de 1 km, como exemplo, tatu-canastra (*Priodontes maximus*), lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), onça-pintada (*Panthera onca*) ou entre outros animais selvagens com baixa, média e longa dispersão (RODRIGUES, 2002; BERTASSONI, 2010; SILVEIRA et al., 2014; DINIZ et al., 2018).

Além dos valores do dIIC, dIICintra, dIICflux e dIICconnector, para cada fragmento presente nos entornos em 2000 e 2018, foram obtidos os valores do EC (Conectividade Equivalente). O EC(IIC) é definido como o tamanho de um único fragmento de hábitat (maximamente conectado) que forneceria o mesmo valor da métrica IIC que o padrão de hábitat real na paisagem (SAURA et al. 2011, SAURA; TORNÉ, 2012). EC é calculado apenas com a raiz quadrada do numerador dos índices IIC (eq. 1), produzindo o EC(IIC) (SAURA; TORNÉ, 2012).

Segundo Saura et al. (2011), a variação relativa na EC após uma mudança espacial específica (ou conjunto de mudanças) na paisagem pode ser diretamente comparado com a variação na quantidade total de área de hábitat na paisagem após a mesma mudança, por apresentar unidade de área.

O dEC (delta da Conectividade Equivalente) e o dA (delta Área) foi dado por:

$$dEC = \frac{EC(IIC)^i - EC(IIC)}{EC(IIC)} \text{ eq.3} \quad dA = \frac{A^i - A}{A} \text{ eq.4}$$

onde dEC foi definido como a diferença entre o valor após $EC(IIC)^i$ e antes $EC(IIC)$ da mudança espacial, dividida pelo valor de antes dessa alteração (eq. 3). O dA foi definido como a diferença entre o valor da área após A^i e antes A da mudança espacial, dividido pelo valor da área antes dessa alteração (eq.4). Os valores do dEC e do dA podem ser interpretados da seguinte maneira: se as transformações na paisagem ocasionarem o aumento do isolamento dos fragmentos, então a perda da conectividade será mais expressiva que a perda de área (dEC < dA); se o desmatamento ocorrer de maneira que os fragmentos são capazes de atuarem como corredores ou trampolins entre os demais fragmentos existentes, ocasionará a continuidade da conectividade, porém haverá perdas relevantes na área (dEC > dA); se as mudanças impactam tanto a conectividade quanto a área, seria esperada uma igualdade nos valores dos deltas (dEC = dA).

3.3.2 Análises estatísticas

Utilizamos análise de variância bidirecional (*two way* ANOVA) para avaliarmos as mudanças na conectividade funcional nas paisagens dos entornos das UCs de PI Federais. O *Two way* ANOVA é um teste estatístico que permite fazer comparações entre as médias de três ou mais grupos de dados, onde duas variáveis independentes são consideradas.

O teste estatístico foi realizado para os valores do dIIC, dIICintra, dIICflux e dIICconnector para identificarmos a existência de variação entre os anos 2000 e 2018, entre a região de fronteira do desmatamento e região de desmatamento consolidado e entre os anos e as regiões. A análise do *two way* ANOVA foi realizado no ambiente Rstudio (<https://rstudio.com/>) e os valores de $p < 0,05$ foram considerados significativos.

4 RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos com o dIIC, identificamos que a conectividade geral das paisagens dos entornos das UCs de PI Federais de estudo é maior na região de fronteira do desmatamento do que na região de desmatamento consolidado (Figura 3). Independente da região, a conectividade geral é maior no ano 2000 do que em 2018. As mudanças na conectividade geral são estatisticamente significantes quanto ao ano e a região em que o entorno está inserido ($t = 5.120$; $p < 0,001$).

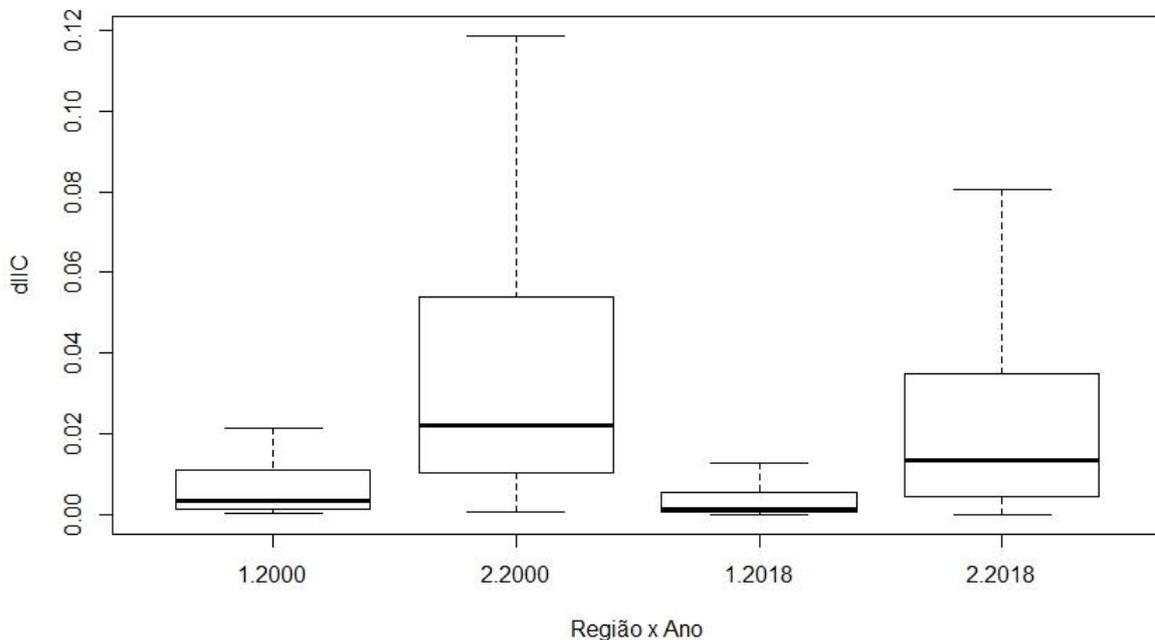


Figura 3: Variação dos valores do dIIC por região e ano, apresentada por meio de quartis. 1- Região de desmatamento consolidado, 2- Região de fronteira do desmatamento.

Foram obtidos os resultados para as três frações do índice de conectividade funcional dIICintra, dIICflux e dIICconnector. Para o dIICintra houve uma variação significativa ($t = 5.434$; $p < 0,001$;) entre os anos e as regiões. Identificamos que a conectividade *interpatch* dos fragmentos das regiões de fronteira é maior que na região consolidada e os fragmentos presentes no ano 2000 apresentaram maior contribuição para conectividade (Figura 4). O dIICflux não apresentou variação significativa entre os anos e as regiões ($t = -0.094$; $p = 0.925$), no entanto, os fragmentos presentes nos anos 2000 estavam melhores conectados com os demais fragmentos do que em 2018 (Figura 4). O dIICconnector apresentou uma baixa variação significativa entre os anos e as regiões ($t = 2.185$; $p < 0,05$), não existindo variação significativa entre os anos. Com isso, os fragmentos presentes na região de fronteira tendem a serem menos

importantes para a conectividade, tanto para o ano 2000 quanto para o ano de 2018, do que os fragmentos presentes na região de desmatamento consolidado.

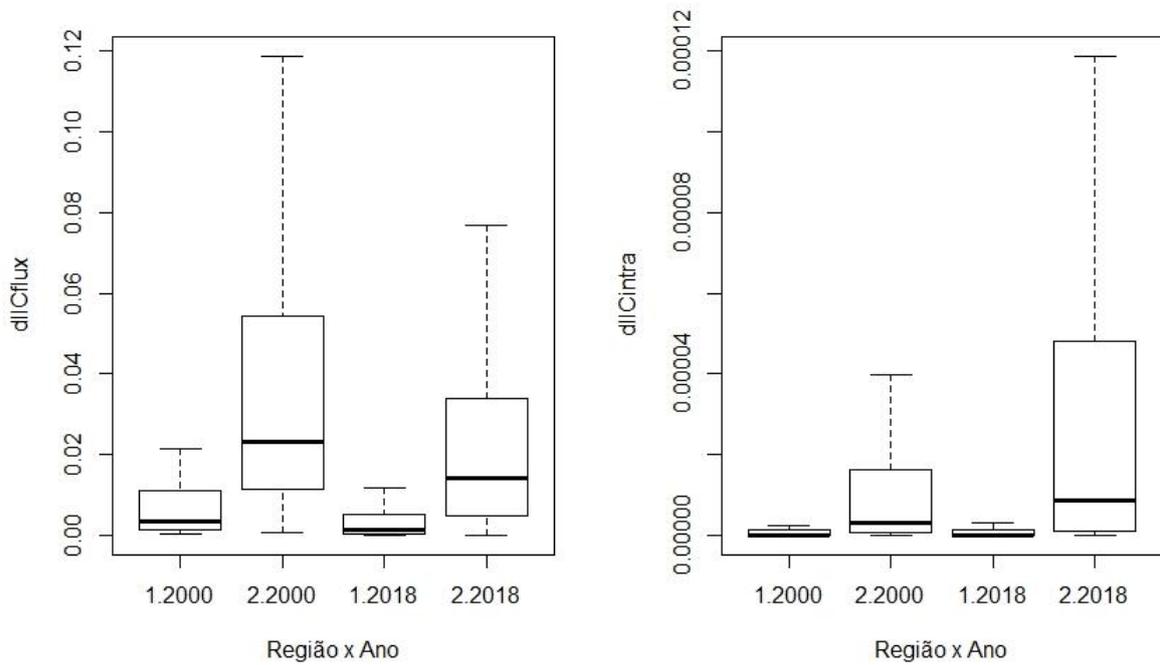


Figura 4: Variação dos valores do dIICflux e dIICintra por região e ano, apresentada por meio de quartis. 1- Região de desmatamento consolidado, 2- Região de fronteira do desmatamento.

Na Figura 5 é possível observar as mudanças na paisagem dos entornos das UCs.

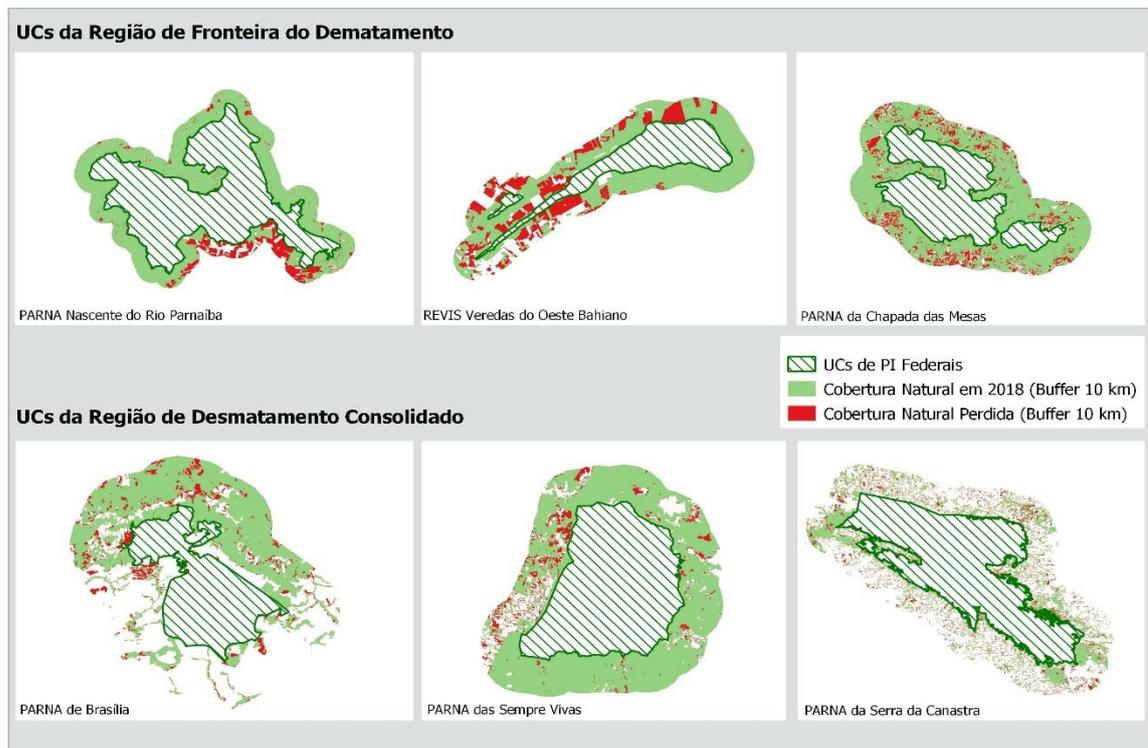


Figura 5: Visualização da área de cobertura natural perdida nos entornos das UCs PI Federais de estudo presentes na região de fronteira do desmatamento e região de desmatamento consolidado.

Foram obtidos o dEC e dA para os entornos das UCs (Figura 6). Os resultados da comparação das duas variações demonstraram que tanto a cobertura natural como a conectividade das paisagens dos entornos sofreram perdas no período de estudo (2000-2018), tendo maior impacto na conectividade funcional (Figura 6 e Tabela 2).

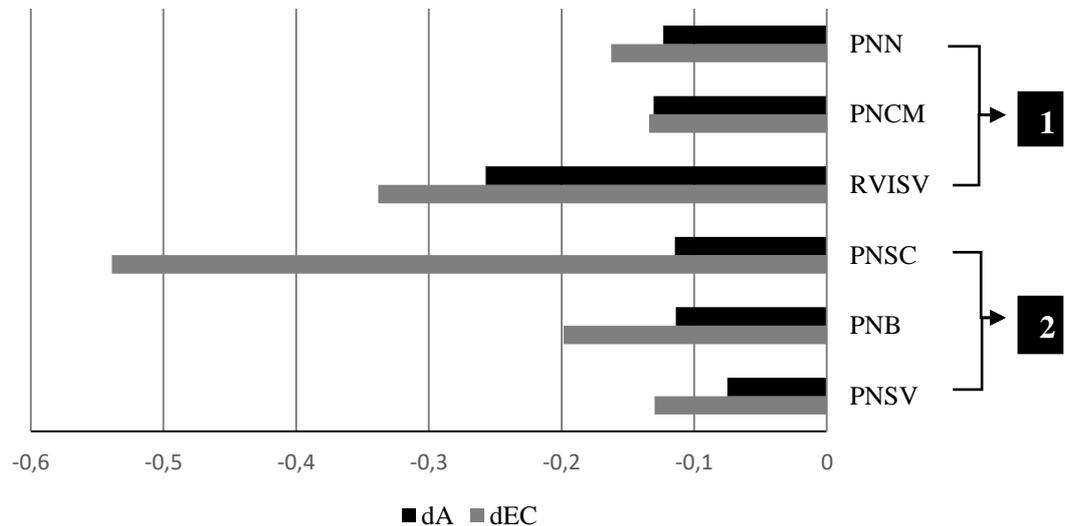


Figura 6: Variação da cobertura natural dos entornos (dA) e da área de conectividade equivalente (dEC) entre 2000 e 2018. PNN (Parque Nacional Nascente do Rio Parnaíba), PNCM (Parque Nacional da Chapada das Mesas), RVISV (REVIS Veredas do Oeste Baiano), PNSC (PARNA da Serra da Canastra), PNB (PARNA de Brasília) e PNSV (PARNA das Sempre Vivas).

Para as regiões de fronteira do desmatamento e região de desmatamento consolidado foi possível observar que as UCs das duas regiões sofrem perdas no dEC e dA, no entanto, a perda na conectividade na região consolidada foi maior que na região de fronteira (Tabela 3 e Figura 6). Somente a PARNA da Chapada das Mesas apresentou muito baixa variação entre o dEC e dA (Figura 6).

Tabela 3: Comparação das mudanças do dEC e dA por UC e região. 1- Região de fronteira do desmatamento, 2- Região de desmatamento consolidado.

UC	Região	
PARNA da Chapada das Mesas	1	dEC = dA
PARNA Nascente do Rio Parnaíba		dEC < dA
REVIS Veredas do Oeste Bahiano		dEC < dA
PARNA da Serra da Canastra	2	dEC < dA
PARNA das Sempre Vivas		dEC < dA
PARNA de Brasília		dEC < dA

5 DISCUSSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi analisar a conectividade funcional na paisagem dos entornos das UC de PI Federais do bioma Cerrado, considerando o desmatamento registrado pelo PRODES Cerrado nos anos 2000 e 2018. As hipóteses levantadas foram: H1: A conectividade na área de fronteira é maior que na área consolidada, foi corroborado para as métricas dIIC e dIICintra; H2: A variação da conectividade na área de fronteira é maior que na área consolidada, foi corroborado para as métricas dIIC, dIICintra e dIICconnector, e H3: O peso do conector é maior na área consolidada que na área de fronteira, foi corroborado.

A partir das corroborações das hipóteses abordadas observamos que os entornos das UC de PI Federais analisadas no ano de 2018, presentes na área de fronteira, apresentaram alta conectividade geral da paisagem, com maior significância na conectividade dentro dos próprios fragmentos, o que pode indicar que os fragmentos desta área são grandes. No entanto, a variação (2000 a 2018) da conectividade demonstrou que as paisagens dos entornos das UC da área de fronteira foram impactadas negativamente, com efeitos diretos na conectividade geral e na conectividade *interpatch*. Identificamos que os fragmentos dos entornos da área consolidada contêm maior fluxo em comparação com os da área de fronteira, desta maneira, por exemplo, um fragmento pode estar conectado com vários outros ao mesmo tempo. Além disso, o peso do conector foi maior na área consolidada, devido esta área conter mais fragmentos conectores, que são importantes para conectividade, pois quando são perdidos parte ou toda rede de conexão da paisagem também é perdida. Porém, a área de fronteira apresentou maior variação no conector em comparação a área consolidada, indicando que houve a perda ou redução das áreas de fragmentos, afetando a estrutura da conectividade dos entornos desta área.

A partir dos resultados encontrados na comparação do dEC e dA, identificamos que as mudanças nas paisagens (2000 a 2018) nos entornos das UC PI Federais de estudo, presentes na área de fronteira e na área consolidada, apresentaram maiores perdas de fragmentos importantes para a manutenção da conectividade funcional, sendo os entornos das UC da área consolidada com maiores variações de perda. Além disso, os entornos das UC analisadas apresentaram perda nas áreas dos fragmentos. Como foi evidenciado por estudos anteriores, realizados nos entornos das UCs do Cerrado, a perda de hábitat fora das UC é maior que dentro (CARRANZA et al., 2014; FRANÇOSO et al., 2015). Desta maneira, as mudanças na conectividade das paisagens dos entornos das UC, que identificamos, podem estar presentes em

outras unidades de conservação, devido as constantes mudanças antrópicas que ocorrem em todo a extensão do bioma.

A nossa classificação da área de fronteira e da área consolidada, realizada a partir da média do desmatamento registrado nos municípios, foi eficaz para identificar a distribuição das áreas naturais do Cerrado, sendo o norte do bioma com maior concentração remanescentes e o sul do bioma com maior perda de áreas naturais. O sul do bioma apresenta altas taxas de áreas desmatadas devido aos processos históricos da ocupação do Cerrado, que inicio no século 19 com a imigração para o interior do Brasil para exploração de recursos minerais (FERNANDES et al., 2016). Atualmente, os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal e Goiás, localizados no sul do Cerrado, apresentam os maiores percentuais de perdas de remanescentes, mas uma maior estagnação na conversão de áreas nativas em áreas antrópicas (BRASIL, 2018). No norte do bioma estão localizados os últimos e maiores áreas remanescentes naturais (FERNANDES et al., 2016). Os estados com maiores percentuais de vegetação natural de todo o bioma estão localizados no norte do Cerrado, os estados são: Tocantins, o Maranhão, a Bahia e o Piauí (BRASIL, 2018). Estes quatro estados compõem o território denominado de MATOPIBA, que é caracterizada pela expansão da fronteira agrícola baseada em tecnologias de alta produtividade (MIRANDA et al. 2014).

A conectividade funcional depende do contexto da paisagem e das necessidades dos organismos, desta forma, a capacidade de uma espécie de abranger as demandas espaciais de outras espécies muda entre paisagens com diferentes níveis de perturbação (DINIZ et al., 2018). A distância de dispersão (1km) utilizada, neste estudo, para representar a capacidade de movimentação de uma espécie genérica pode ser considerada abrangente para distintas espécies, pois esta distância pode abarca espécie que tem capacidade de baixa a longa dispersão. Além disso, a capacidade de movimentação das espécies nas paisagens dos entornos estudados pode ter variado entre os anos e as regiões, pois a conectividade geral dessas paisagens variou significativamente entre os anos (2000 e 2018) e as região (área de fronteira e área consolidada), indicando mudanças na permeabilidade da matriz. De acordo com Diniz et al. (2018) espécies menos intolerantes à matriz e com menor capacidade de dispersão podem fornecer um guarda-chuva mais amplo do que muitas outras espécies em paisagens mais fragmentadas e com uma baixa quantidade de habitat.

Em relação ao desmatamento dentro das unidades de conservação federais do Cerrado o PPCerrado identificou que o total de área desmatada, até 2013, no interior de unidades de

conservação de proteção integral e de uso sustentável, chegou a 3,1 milhões de hectares (BRASIL, 2018). Quatro das UC de PI Federais, analisada no presente trabalho, estão entre as UCs federais com maiores valores de desmatamento acumulado, sendo que duas estão na área consolidada, PARNA da Serra da Canastra e PARNA de Brasília, e duas na área de fronteira, PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba e PARNA da Chapada das Mesas (BRASIL, 2018). Os conhecimentos sobre as espécies presentes dentro e fora das unidades de conservação ainda são escassos (OLIVEIRA et al., 2017). De acordo com Oliveira et al. (2017), atualmente, a rede de UCs não protege a maioria das espécies endêmicas e as linhagens evolutivas com distribuição mais restrita ocorrem em maior extensão fora das UCs. Desta maneira, os nossos resultados contribuem para o entendimento da dinâmica da paisagem dos entornos das UC do Cerrado, levando em consideração a possível movimentação das espécies entre os fragmentos dos entornos das áreas protegidas estudadas e como as mudanças na paisagem podem ser interpretadas para auxiliar no planejamento sistemático de conservação.

Das seis UC de PI Federais analisadas somente três têm plano de planejamento e somente duas apresentam propostas de zonas de amortecimentos. As três UCs presentes na área de fronteira não possuem ZA definidas, desta forma é urgente a criação do plano de manejo destas unidades devido seus entornos terem apresentado alta variação na perda da conectividade geral e por estarem inseridas nos limites do MATOPIBA, área que passa por contínuas expansão agrícola. Além do mais, as áreas protegidas no Brasil têm sofrido reclassificações e redução do limite (LOYOLA, 2014). As elaborações do plano de manejo destas unidades de conservação são importantes para a administração responsáveis pela gestão das unidades tenham definidos os tipos de atividades que podem ser licenciadas nos entornos das UC de PI Federais de estudo. De acordo com Margules e Pressey (2000), a realização dos objetivos de conservação requer estratégias para gerenciar paisagens inteiras, incluindo áreas alocadas para produção e proteção. Desta forma, a conectividade funcional tanto do entorno quanto da própria UC e entre as UCs têm que ser levada em consideração no planejamento sistemático das unidades de conservação do Cerrado, por ser uma das medidas que pode proporcionar a persistências de diferentes espécies em paisagens fragmentadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo evidenciaram que as paisagens dos entornos das Unidades de Conversão de Proteção Integral Federais analisadas sofreram perdas na conectividade geral da paisagem de 2000 a 2018, períodos do monitoramento do desmatamento do PRODES Cerrado. Sendo que as variações das métricas da conectividade dIIC, dIICintra e dIICconector foram significativas entre os anos e entre as áreas do Cerrado, que classificamos como área de fronteira e área consolidadas. O estorno do PARNA da Chapada das Mesas, do PARNA Nascente do Rio Parnaíba, da REVIS Veredas do Oeste Bahiano, do PARNA da Serra da Canastra, do PARNA das Sempre Vivas e da PARNA de Brasília perderam fragmentos importantes para a manutenção da conectividade funcional da paisagem e sofreram redução nas áreas dos fragmentos, com maior impacto nas unidades presentes na área consolidada. As unidades de conservação presentes na área de fronteira apresentaram maior conectividade geral e *interpach* em comparação com as UCs da área consolidada. Os entornos das UCs da área consolidada apresentaram maior peso no conecto que os entornos das áreas de fronteira. Desta forma, o objetivo geral do presente trabalho foi atendido tendo todas as hipóteses levantadas confirmadas.

O presente trabalho contribui no conhecimento sobre como a perda de vegetação natural nos entornos das unidades de conservação podem influenciar o fluxo biológico das espécies presentes nas áreas protegidas do bioma Cerrado. O entendimento de como as mudanças na cobertura e uso do solo afetam a movimentação dos animais pelas diferentes estruturas da paisagem, presente nos entornos das UC, é de fundamental importância para agregar e complementar dados científicos decisivos ao planejamento estratégico para a conservação da biodiversidade. Este estudo também contribui para evidenciar a importância da delimitação de Zonas de Amortecimento no entorno das UCs, bem como da elaboração adequada e pertinente dos Planos de Manejo das Unidades de Conservação do Bioma Cerrado. Conclui-se que há demanda urgente em delimitar o zoneamento das UCs do bioma, definindo as devidas restrições de uso e implementando o monitoramento eficiente nessas áreas.

Uma das limitações do presente estudo foi a conversão dos arquivos no formato matricial (*raster*) para o formato vetorial, pois os limites dos fragmentos passam a obter um formato pixelado, influenciando na representação do formato real dos fragmentos. Outra limitação observada foi na elaboração das linhas de conectividade, apesar do programa Conefor conectar os fragmentos escolhendo o caminho mais curto, ele não avalia o uso e ocupação do

solo presente entre os fragmentos conectados, o que pode afeta o nível de atrito desta matriz para a movimentação da espécie.

Recomenda-se que novos estudos sejam realizados no entorno das unidades de conservação do Cerrado para analisar como estas áreas influenciam na dinâmica da paisagem e a conectividade funcional interna e externa das UCs. Também recomendamos que seja incluído no Plano de ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas no Cerrado (PPCerrado) o monitoramento da conectividade funcional dos remanescentes naturais do Cerrado.

Por fim, a utilização de ferramentas geoespaciais é de suma importância para as análises e monitoramento das mudanças ocorridas nas paisagens do Cerrado. A partir disponibilização dados geográficos do território brasileiro é possível avaliar e propor medidas de mitigação com bases científicas, desta forma, possibilita aplicação de uma gestão mais eficiente das áreas protegidas brasileiras. O Cerrado passa por contínuas modificações antrópica, desta maneira, a manutenção da conectividade das suas paisagens fragmentadas pode proporcionar a persistência, a longo prazo, da sua fauna e flora biodiversidade, além de reduz o isolamento de habitats relevantes no contexto da savana tropical mais biodiversa do mundo: o Cerrado Brasileiro.

7 REFERÊNCIAS

ARIMORO, O. A. S. **Uso de Geotecnologias Aplicadas em Estudos de Modelos de Ocupação e Conectividade para Mamíferos de Médio e Maior Porte no Cerrado**. 2015. 144 p. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 2015.

BEIROZ, H. Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação em ambientes urbanos sob a ótica territorial: reflexões, demandas e desafios. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 35, p. 275–286, 2015.

BERTASSONI, A. **Avaliação da relação entre área de vida, distância média diária percorrida e disponibilidade de energia de tamanduás-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) em savanas neotropicais**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, 2010.

BRASIL. **Lei Complementar Nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. 12 dez. 2011a.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. 19 jul. 2000

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do Bioma Cerrado 2009-2010**. - Brasília: MMA; IBAMA, 2011b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016-2020**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento. – Brasília, DF: MMA, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIOS DO MEIO AMBIENTE. **O Bioma Cerrado**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acessado em: 24 nov. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. 20 dez. 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 13, de 6 de dezembro de 1990**. Dispõe sobre normas referentes às atividades desenvolvidas no entorno das Unidades de Conservação. 28 dez. 1990.

BRITO, A. et al. Monitoramento da cobertura natural do Cerrado por satélite. São José dos Campos - SP: **FUNCATE**, 2018.

CAMINHO, A. F. **Conama define zona de amortecimento de UC sem plano de manejo**. MMA, 2010. Disponível em : <<https://www.mma.gov.br/informma/item/6717-conama-define-zona-de-amortecimento-de-uc-sem-plano-de-manejo>>. Acessado em: 25 ago. 2019.

CARRANZA, T. et al. Protected area effectiveness in reducing conversion in a rapidly vanishing ecosystem: the Brazilian Cerrado. **Conserv. Letters**. v.7, p. 216–223, 2014.

DINIZ, M. F. et al. Can we face different types of storms under the same umbrella? Efficiency and consistency of connectivity umbrellas across different patchy landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 11, p. 1911–1923, 2018.

FERNANDES, G. W. et al. **Cerrado: em busca de soluções sustentável**. – Rio de Janeiro: Vertente produções artísticas, 2016. 212 p.

FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 493-502, 2007.

FRANÇOSO, R., et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. **Nat Conservacao**. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>>. Acessado em: 16 set. 2019.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais e Coordenação de Geografia. – Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 352p.

ICMBio. **Unidades de conservação - Cerrado**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros>>. Acessado em: 21 out. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **PRODES - Incremento anual de área desmatada no Cerrado Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/cerrado>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

LAURANCE, W. F. et al. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. **Nature**, v. 489, p. 290–293, 2012.

LOYOLA, R. Brazil cannot risk its environmental leadership. **Diversity and Distribution**, v. 20, p. 1365-1367, 2014.

MACHADO, R. B. et al. **Caracterização da Fauna e Flora do Cerrado**. Editoras: Embrapa Cerrados, Capítulo 9, p. 285-300, 2008. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/235575728>>. Acessado em: 17 nov. 2019.

MACHADO, R.B., et al. Análise de lacunas de proteção da biodiversidade no Cerrado - Brasil. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Volume II – Seminários. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza e Rede Nacional Pró Unidades de Conservação. Curitiba, PR, p. 29-38, 2004.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, p. 243-253, 2000.

METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. **Natureza & Conservação**, v. 4, p. 11–23, 2006.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÕES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Campinas-SP: Norma Técnica Embrapa. p. 1-18, 2014.

MMA. **Plano de manejo**. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/plano-de-manejo.html>>. Acessado em: 24 set. 2019.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 43, p.853-558, 24 fev. 2000.

OLIVEIRA, U. et al. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-9, 2017.

PASCUAL-HORTAL, L.; SAURA, S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 959-967, 2006.

PIASENTIN, F. B.; GÓIS, S. L. L. Conservação de remanescentes florestais no Brasil: considerações sobre os principais instrumentos de gestão ambiental. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 36, p. 115-134, 2016.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2017.

RODRIGUES, F. H. G. **Biologia e Conservação do lobo-guará na Estação Ecológica de Águas Emendadas**. DF. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, 2002.

RUDNICK, DEBORAH A. RYAN, S. J. et al. The Role of Landscape Connectivity in Planning and Implementing Conservation and Restoration Priorities. **Issues in Ecology**, n. 16, p. 1–20, 2012.

SANTINI, L.; SAURA, S.; RONDININI, C. Connectivity of the global network of protected areas. **Diversity and Distributions**, v. 22, p. 199-211, 2016.

SAURA, S. et al. Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990-2000). **Ecological Indicators** v. 11, p. 407–416, 2011.

SAURA, S. et al. Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? **Ecological Indicators**, v. 76, p. 144–158, 2017.

SAURA, S.; PASCUAL-HORTAL, L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. **Landscape and Urban Planning**, v. 83, p. 91–103, 2007.

SAURA, S.; RUBIO, L. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. **Ecography**, v. 33, p. 523–537, 2010

SAURA, S.; TORNÉ, J. Conefor 2.6 user manual. Universidad Politécnica de Madrid, p. 1-19, 2012.

SAURA, S.; TORNÉ, J. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, p. 135-139, 2009.

SILVEIRA, L. et al. The potential for large-scale wildlife corridors between protected areas in Brazil using the jaguar as a model species. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 1213-1223, 2014.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 0099, p. 13-15, 2017.

UNEP-WCMC; IUCN. **Protected Planet: Brazil, Latin America & Caribbean**. The World Database on Protected Areas (WDPA)/The Global Database on Protected Areas Management Effectiveness (GD-PAME), Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Disponível em:<www.protectedplanet.net>. Acessado em: 17 nov. 2019.

URBAN, D. ; KEITT, T. Landscape Connectivity : A Graph-Theoretic. **Ecology**, v. 82, p. 1205-1218, 2010.

VIEIRA, R. R. S.; PRESSEY, R. L.; LOYOLA, R. The residual nature of protected áreas in Brazil. **Biological Conservation**, v. 233, p. 152-161, 2019.