



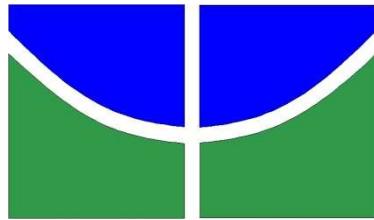
**DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS**

LEANDRA TEIXEIRA PAIVA

Brasília, 12 de fevereiro de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS**

LEANDRA TEIXEIRA PAIVA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto

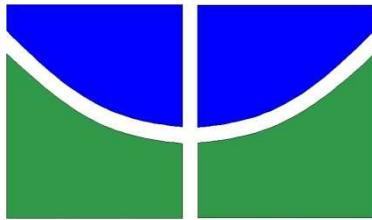
Brasília-DF, 12 de fevereiro de 2025

CIP - Catalogação na Publicação

PP149d PAIVA, LEANDRA TEIXEIRA.
DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS / LEANDRA TEIXEIRA PAIVA;
Orientador: José Roberto Rodrigues Pinto. -- Brasília, 2025.
66 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia Florestal) -- aqui Universidade de Brasília, 2025.

1. Unidade de Conservação. 2. Fragmentação. 3. Sistema de Informação Geográfica. 4. Estoque de Carbono. I. Roberto Rodrigues Pinto, José, orient. II. Título.



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS**

Estudante: Leandra Teixeira Paiva

Matrícula: 18/0021923

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto

Menção: SS

Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto
Departamento de Engenharia Florestal – UnB
Orientador

Prof. Dr. Eraldo A. Trondoli Matricardi
Departamento de Engenharia Florestal – UnB
Membro da Banca

Prof. Dr. Reuber Albuquerque Brandão
Departamento de Engenharia Florestal – UnB
Membro da Banca

Brasília-DF, 12 de fevereiro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

PAIVA, LEANDRA TEIXEIRA

DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS.

66 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheiro(a), Engenharia Florestal, 2025).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Análise de paisagem

2. Integridade ambiental

3. Ocupação antrópica

4. Sistema de Informação Geográfica

5. Unidade de Conservação

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PAIVA, L. T (2025). **DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 68 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Leandra Teixeira Paiva

TÍTULO: *Dinâmica no Uso da Terra, Fragmentação da Vegetação Nativa e Estoque de Carbono na Área de Proteção Ambiental dos Pireneus, no Estado de Goiás.*

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Leandra Teixeira Paiva

leandrateixeirapaiva39@gmail.com

Dedico essa Monografia à minha mãe, à minha irmã e ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos da minha família: meu pai, minha mãe e a minha irmã pelo apoio e pelo incentivo a minha formação pessoal e formal desde a minha infância. Eu nunca serei capaz de reembolsá-los por todas as economias e tempo empregado até este momento da minha formação, mas tentarei retribuí-los com minha dedicação e empenho em qualquer trabalho que eu venha realizar. Aos meus amigos: Renata, Paula, Francisco, Helena e muitos outros os quais conheci no caminho, foram meu refúgio, meu descanso e as minhas mais verdadeiras risadas em momentos difíceis.

Agradeço à Universidade de Brasília, especialmente ao Departamento de Engenharia Floresta por terem me possibilitado uma melhor formação pela qual eu poderia pedir.

Agradeço aos professores Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi, José Roberto Rodrigues Pinto e Reuber Albuquerque Brandão pela paciência, dedicação ao ensino e pelas contribuições ao longo de minha graduação.

Agradeço as demais pessoas que me auxiliaram nessa caminhada.

“As coisas não mudam; nós é que mudamos”. (Henry David Thoreau)

RESUMO

Paiva, Leandra Teixeira (PAIVA, L. T.) **DINÂMICA NO USO DA TERRA, FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA E ESTOQUE DE CARBONO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PIRENEUS, NO ESTADO DE GOIÁS.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação, promulgado em 2000, por meio da tem como objetivo o melhor ordenamento territorial em um momento em que ocorria alto crescimento industrial e agrícola. Sua criação foi considerada imprescindível para a proteção de riquezas naturais e de espécies ameaçadas de extinção; proteção de recursos de importância biológica, social, geológica e de beleza cênica. As áreas que mais apresentaram crescimento da fronteira agrícola e da modificação do uso e cobertura do solo foram as inseridas no bioma Cerrado e, em especial, a região do estado de Goiás. Em face desses avanços, as áreas de conservação como as Áreas de Proteção Ambiental despertam preocupação quanto a sua efetividade. O presente estudo buscou entender a dinâmica do uso e cobertura da terra ocorrida na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus (APAP), seus efeitos sobre a fragmentação da vegetação natural, e sobre o estoque de carbono avaliando a efetividade no controle das ações antrópicas e na conectividade desta APA. Para isso foram utilizados dados e técnicas de sensoriamento remoto e métodos de análise da paisagem. Os resultados do mapeamento do uso e ocupação da terra indicam que a criação da APAP foi efetiva em reduzir o avanço da fragmentação da vegetação natural no período de 1985 a 2020. No entanto, a fragmentação é um problema que possui múltiplas facetas. Além da ocupação antrópica e da perda da vegetação natural, distúrbios naturais tais como eventos climáticos extremos e incêndios florestais podem vir a se tornarem problemas maiores se não forem devidamente monitorados e integrados a um manejo adequado do solo, da vegetação e das culturas agrícolas, pastoris e silviculturais.

Palavras-chave: Análise de paisagem, Integridade ambiental, Ocupação antrópica, Sistema de Informação Geográfica, Unidade de Conservação.

ABSTRACT

Paiva, Leandra Teixeira (PAIVA, L. T.) **LAND USE DYNAMICS, NATIVE VEGETATION FRAGMENTATION AND CARBON STOCKS IN THE PYRENEES ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA (APAP) IN THE STATE OF GOIÁS (GO)**. Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

The National System of Conservation Units was created in 2000 by means of Law 9,985 of July 18, 2000, which aims to improve territorial planning at a time of high industrial and agricultural growth. Its creation was considered essential for the protection of natural resources and endangered species; and for the protection of resources of biological, social, geological and scenic importance. The areas that showed the greatest growth in agricultural frontiers and changes in land use and coverage were those located in the Cerrado biome, especially the Goiás region. In view of these advances, the effectiveness of protected areas such as Environmental Protection Areas raises concerns about their effectiveness. This study sought to understand the dynamics of land use and land cover in the Pyrenees Environmental Protection Area (APAP), its effects on the fragmentation of natural vegetation, and on carbon stocks, assessing the effectiveness of controlling human actions and the connectivity of this APA. For this purpose, remote sensing data and techniques and landscape analysis methods were used. The results of the mapping of land use and occupation indicate that the creation of the APA was effective in reducing the advance of fragmentation of natural vegetation in the period from 1985 to 2020. However, fragmentation is a problem with multiple facets. In addition to human occupation and the loss of natural vegetation as a whole, there are natural disturbance factors that can become major problems if they are not properly monitored and integrated into adequate management of soil, vegetation, and agricultural, pastoral, and forestry crops.

Keywords: Landscape analysis, Environmental integrity, Anthropogenic occupation, Geographic Information System, Conservation Unit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Área de Proteção Ambiental dos Pireneus, no estado de Goiás.	34
Figura 2. Evolução do uso e cobertura da terra no período de 1985 a 2020, considerando as categorias áreas naturais e áreas antropizadas, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.	42
Figura 3. Índices PLAND, LPI, AREA_MN, CIRCLE_MN, NDCA, CAI_MA para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, para a Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.	45
Figura 4. Índices PROX_MN, COHESION e AI para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, para a Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.	46
Figura 5. Porcentagem do Estoque de Carbono nas áreas naturais e áreas antropizadas nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos dados utilizados no estudo.	35
Tabela 2. Classes de uso e cobertura da terra (hectare), para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil	40
Tabela 3 - Número de fragmentos de Áreas naturais estimados para 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 em classes de tamanho na Área de Proteção Ambiental Pirineus, estado de Goiás, Brasil.	43
Tabela 4 - Estoque de Carbono (MgC), por tipo de uso da terra estimada para o período de 1985 a 2020, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
UC	Unidade de Conservação
APP	Área de Preservação Permanente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
GEE	Gases de Efeito Estufa
APAP	Área e Proteção Ambiental dos Pirineus
PRODES	Projeto de Desenvolvimento de Sistemas de Prevenção de Incêndios Florestais e Monitoramento da Cobertura Vegetal no Cerrado Brasileiro
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
REM	Radiação Eletromagnética
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
SEMAP	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivo Específico.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Bioma Cerrado e sua Ocupação	19
3.2 Unidade de Conservação.....	21
3.2.1 Área de Proteção Ambiental (APA).....	23
3.2.2 Área de Proteção Ambiental dos Pireneus (APAP)	23
3.3 Sensoriamento Remoto	24
3.3.1 Sistema de Informação Geográfica	25
3.4 Uso e Cobertura da Terra	26
3.5 Ecologia da Paisagem	28
3.5.1 Métricas da Paisagem.....	29
3.6 Biomassa e Estoque de Carbono	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 Área de estudo.....	33
4.2 Preparação do mapa de uso e cobertura da terra	34
4.3 Reclassificação dos mapas de uso e cobertura ArcGis	35
4.4 Extração de dados no programa Fragtstats.....	36
4.4.1 Métricas de área e densidade.....	36
4.4.2 Métricas de forma.....	36
4.4.3 Métricas de área central.....	37
4.4.4 Métricas de proximidade e isolamento.....	37
4.4.5 Métricas de contágio e dispersão	38
4.5 Estimativa de estoque de Carbono	39

5 RESULTADOS	40
5.1 Dinâmica de uso e cobertura da terra	40
5.2 Fragmentação das áreas naturais	43
5.3 Avaliação do estoque de Carbono	46
6 DISCUSSÃO	49
6.1 Dinâmica de uso e cobertura da terra	49
6.2 Fragmentação das áreas naturais	49
6.3 Avaliação do estoque de Carbono	52
7 CONCLUSÕES.....	53
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A perda de vegetação nativa em detrimento da ocupação antrópica, principalmente pelo agronegócio, promove grande pressão sobre a diversidade biológica e para os serviços ecossistêmicos, por exemplo estoque de carbono (OLIVEIRA; PIETRAFESA; BARBALHO, 2008; ROSOLEN et al., 2012). A partir da década de 1970 o Cerrado se transformou em uma nova e importante fronteira agrícola brasileira. Mas a implementação do conjunto de ações para ocupação no Cerrado teve como consequência a fragmentação de áreas naturais (PRODES, 2018). Esse avanço na fragmentação do Cerrado é um dos grandes desafios para o cumprimento de políticas de redução de emissão GEE (Gases de Efeito Estufa), como é o caso do Decreto n.º 9.578 de 22 de novembro de 2018, o qual consolidou os atos normativos que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – FNMC (IBAMA, 2020).

A conversão de áreas de vegetação natural em áreas de uso antrópico pode acarretar na alteração nos níveis de estoque de carbono que é fixado da atmosfera (MALHI; BALDOCCHI; JARVIS, 1999). Esse serviço é particularmente importante no balanço global de carbono, com relevância acrescida face aos pressupostos estipulados para redução dos gases causadores do efeito estufa, assim como ao panorama atual de mudanças climáticas (ROQUETTE, 2018).

Neste cenário, a criação de Unidades de Conservação (UCs) é uma das formas de mitigar e ou frear os efeitos das ameaças à biodiversidade e ao meio ambiente (UNEP-WCMC, 2016). Dentre os grupos de UCs estão as de uso sustentável, que buscam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Uma das categorias de UCs de Uso Sustentável é a Área de Proteção Ambiental - APA (BRASIL, 2000). Nas APAs é permitida a ocupação humana de acordo com o desenvolvimento de atividades econômicas, objetivando conciliar essa ocupação à conservação dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000). Atualmente, há muitas dúvidas quanto à capacidade das APAs de conservar os recursos e a biodiversidade, visto que são áreas extensas que nem sempre apresentam fiscalização e monitoramento constantes e desejáveis, a fim de garantir que seus objetivos sejam cumpridos (DIAS; MOSCHINI; TREVISAN, 2017). Uma alternativa para o monitoramento das APAs é a aplicação do sensoriamento remoto, que fornece dados importantes sobre as características ambientais e fenômenos temporais de forma e forma rápida e sistemática a partir de dados de alta resolução (SILVA, 2007).

A área escolhida para o presente estudo é a Área de Proteção Ambiental dos Pirineus (APAP) localizada no estado de Goiás. Esta UC está inserida no contexto do bioma Cerrado e apresenta uma série de mudanças na ocupação da terra, desde migração da população urbana, ao avanço da agropecuária e mudanças nas atividades econômicas (CASTRO et al., 2019). Apesar de estudos socioeconômicos e ambientais estabelecidos na área, são necessárias análises mais aprofundadas para atestar a qualidade dos remanescentes de áreas naturais e a execução de medidas para a contenção do desmatamento ao longo do tempo. Desta forma, este estudo fornecerá informações específicas sobre o grau de conservação dos remanescentes de Cerrado na APAP, mudanças eventuais no uso da terra e os efeitos da ocupação sobre o estoque de carbono na área. Assim é esperado responder as seguintes questões: (1) qual a dinâmica de uso e cobertura da terra entre os anos de 1985 a 2020? (2) quais as atividades antrópicas que mais impactaram a vegetação nativa? (3) A criação da APAP foi efetiva para proteger e manter a integridade e conectividade das áreas naturais? (4) Qual o balanço de estoque de carbono para os diferentes tipos de usos da terra.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra, as métricas de fragmentação da paisagem e a quantidade de estoque de carbono entre 1985 e 2020 na APA dos Pirineus, utilizando dados de Sensoriamento Remoto, gerando informações dos diferentes usos e cobertura da terra e seus potenciais para manutenção ou recuperação da integridade ecológica da vegetação nativa e do estoque de carbono na área de estudo.

2.2 Objetivos específicos

- a) Quantificar e identificar as formas de uso e cobertura da terra, através das análises de mapas de uso de terra para cada cinco anos entre 1985 e 2020.
- b) Analisar a dinâmica de uso da terra para o período entre 1985 e 2020.
- c) Analisar a fragmentação da vegetação nativa entre 1985 e 2020, utilizando mapas de uso e cobertura elaborados a partir de imagens de satélites.
- d) Estimar a dinâmica de estoque de carbono entre 1985 e 2020, por meio de mapas de uso e cobertura da terra.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bioma Cerrado e sua ocupação

Entender a composição e o histórico do Cerrado é uma das ferramentas chave para o presente trabalho, visto que, é onde a área alvo deste estudo está inserida. O Cerrado é o segundo maior bioma da América Latina ocupando uma área de 2,036.448 km², cerca de 23,9% do território brasileiro, apenas superado pelo Amazônico (MMA, 2021). O Cerrado abrange como área contínua os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e ocorre em áreas disjuntas e ou “ilhas” por todas as cinco regiões no Brasil (RIBEIRO; WALTER, 2008). É considerada a savana mais rica do mundo, abrigando nos diversos ecossistemas uma flora com mais de 12.000 espécies de espécies vegetais sendo 11.627, e uma notável diversidade de espécies endêmicas (RIBEIRO; WALTER, 2008).

As águas que nascem neste bioma abastecem seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras: Amazônica, do Araguaia/Tocantins, do Atlântico Norte/Nordeste, do São Francisco, do Atlântico Leste e do Paraná/Paraguai, incluindo as águas que escoam para o Pantanal (ISP, 2020). Cabe destacar que para as regiões do São Francisco, Parnaíba e Paraguai, em que o Cerrado é responsável, respectivamente, por aproximadamente 94%, 105% e 135% da vazão gerada nessas regiões (LIMA, 2011). Da região também depende a recarga de três grandes aquíferos: Bambuí, Urucuia e Guarani (BATISTA, 2016).

Além dos aspectos ambientais, o Cerrado tem grande importância social. Muitas populações sobrevivem de seus recursos naturais, incluindo povos indígenas, quilombolas, geraizeiros, ribeirinhos, babaçueiras, vazanteiros e comunidades quilombolas que, juntas, fazem parte do patrimônio histórico e cultural brasileiro, e detêm um conhecimento tradicional de sua biodiversidade (MMA, 2024).

Atualmente a biota do Cerrado sofre com intensa exploração predatória e é estimado que 20% das espécies nativas e endêmicas da região já não ocorram em áreas protegidas (ICMBIO, 2021). O bioma apresenta 8,21% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação; sendo, 2,85% unidades de conservação de proteção integral (menor porcentagem de áreas sobre a proteção integral) e 5,36% de unidades de conservação de uso sustentável, incluindo RPPNs (0,07%) (ICMBIO, 2021; MMA, 2024).

Mais da metade da área original do bioma Cerrado já foi convertida, principalmente para atividades agropecuárias, e pesquisas apontam que apenas 20% do que resta de vegetação

se encontra em condições saudáveis de conservação (FUNDAJ, 2020). Em 2020 a supressão vegetação nativa no bioma Cerrado chegou a 7.905,16 km², sendo 733,54 km² apenas no estado de Goiás (INPE, 2022). O valor mapeado foi de 11.011,70 km² de corte raso no período de agosto de 2022 a julho de 2023, esse valor representa aumento de 3,02% em relação ao valor apurado para o período do ano anterior, que foi de 10.688,73 km² para o bioma Cerrado (INPE, 2023).

Em termos quantitativos, atualmente 45% da área do Estado de Goiás se apresentam na forma de pastagens (nativas e cultivadas), atuando como o principal vetor para a expansão da fronteira agrícola (CARVALHO; FERREIRA; BAYER, 2008). Os remanescentes de Cerrado estão presentes numa área significativa (33%), embora praticamente metade destes remanescentes já esteja comprometida em termos de biodiversidade, sobretudo pela ameaça de novos desmatamentos e pela elevada fragmentação da paisagem (CARVALHO; FERREIRA; BAYER, 2008).

A PNMC (Política Nacional sobre Mudança do Clima) estabelece uma redução de 80% do desmatamento do bioma Amazônia em relação à média verificada entre 1996 e 2005 e de 40% do desmatamento do bioma Cerrado em relação à média entre os anos de 1999 e 2008 (IBAMA, 2020). Entre 2010 e 2018, houve redução de 5,5 Mha da superfície coberta com vegetação campestre, muito presente no Cerrado, dos quais 59% (3,2 Mha) foram convertidos em áreas agrícolas – número ainda maior se considerarmos que outros 2,2 Mha foram marcados por ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura, associados ou não a remanescentes campestres, nos quais não é possível uma individualização de seus componentes (IBAMA, 2020).

No Cerrado, a situação é agravada pela existência de um nível mais baixo de proteção. Enquanto 53% da Amazônia é constituída por áreas protegidas (UCs, APPs, Reservas Legais, Serviço Ambiental, Terras Indígenas e Terras Quilombolas), esse índice atinge apenas 13% no Cerrado. Vale destacar que diante de medidas de combate ao desmatamento, conservação, proteção da diversidade e regulação da atividade agrícola no bioma o Cerrado apresenta políticas escassas quando comparadas com o bioma Amazônico.

Tem-se como exemplo, a Moratória da Soja (acordo que veda que as empresas associadas às signatárias adquiram soja oriunda de áreas situadas no bioma Amazônia que tenham sido desmatadas após 22 de julho de 2008, que tenham sido embargadas pelo Ibama ou com registro de trabalho análogo à escravidão) que não se aplica ao bioma Cerrado, onde parte importante

das novas áreas incorporadas à produção agrícola é resultado direto da conversão da vegetação nativa, sobretudo na região do MATOPIBA (IBAMA, 2020).

3.2 Unidade de conservação

A Lei 9.985/2000, conhecida como Lei do SNUC, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) no Brasil que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação em todo o território nacional (BRASIL, 2000). Esse sistema envolve uma série de objetivos, como detalhado no Artigo 4º da lei:

Art. 4º—O SNUC tem os seguintes objetivos: I—contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais; II – proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional; III – contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; IV – promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais; V – promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento; VI – proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica; VII – proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; VIII – proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos; IX – recuperar ou restaurar ecossistemas degradados; X – proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental; XI – valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica; XII – favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico; XIII – proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Os objetivos e instrumentos estabelecidos no SNUC para a proteção da biodiversidade estão fortemente correlacionados com a Meta 11 das Metas de Aichi que foram estabelecidas no contexto do Plano Estratégico de Biodiversidade para o período de 2011 a 2020, aprovado na 10ª Conferência das Partes (COP 10), realizada em Nagoya, no Japão (MMA, 2022).

Além disso, a Lei do SNUC divide as unidades de conservação nacionais em dois grupos, com características específicas: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável (BRASIL, 2000). As Unidades de Proteção Integral (Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; e Refúgio de Vida Silvestre) visam preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos

casos previstos na Lei; e as Unidades de Uso Sustentável (Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural) visam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

O SNUC deve ser entendido como uma maneira especial de ordenamento territorial e não como um entrave ao desenvolvimento econômico e social, tendo em vista, que são criadas a partir da demanda da sociedade para a proteção de riquezas naturais e de espécies ameaçadas de extinção; proteção recurso de importância biológica, social, geológico e de beleza cênica; bem como, a promoção do desenvolvimento sustentável e do respeito e a valorização do conhecimento e da cultura de populações tradicionais e seus serviços ecossistêmicos.

Dentre alguns dos desafios que devem ser enfrentados pelo SNUC estão (MMA, 2022):

- Viabilização do planejamento holístico em escala de paisagem, destacando a conectividade dos ecossistemas e de outras UCs;
- Desenvolvimento, aprimoramento, fortalecimento e integração das ferramentas de gestão regional e nacionalmente;
- Aumento da valorização UCs pela sociedade, por meio da educação ambiental, de voluntariado, da visitação e da divulgação de informações;
- Desenvolvimento de estratégias e mecanismos capazes de proporcionar sustentabilidade financeira ao SNUC;
- Aumento da presença e da capacidade institucional, por meio da ampliação das equipes de gestores e parceiros nas UCs e do desenvolvimento e aprimoramento de competências para a gestão.

Esta lei é uma das ferramentas de resposta ao avanço desregulado da ocupação humana (MMA, 2022). No entanto, observou-se, com o passar do tempo e com o desenvolvimento de estudos sobre áreas protegidas, que apenas a criação de unidades de conservação é insuficiente para garantir a dinâmica e preservação da biodiversidade em áreas naturais (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). A fragmentação da vegetação nativa e o isolamento de UCs, resultado de mau planejamento e ou ocupação desregulada, acabam impedindo a movimentação das espécies e o fluxo genético. Desta forma, a implantação e manutenção de corredores ecológicos interligando as UCs e demais áreas naturais remanescentes garantem, além do fluxo genético e a movimentação e dispersão de espécies, a recolonização das áreas degradadas, a conservação e a manutenção da biodiversidade

objetivados pelo SNUC (EMBRAPA, 2021). O monitoramento das unidades de conservação ajuda a garantir o cumprimento dos seus objetivos previstos em lei (GADÊLHA; GADÊLHA; RODRIGUES, 2023)e, portanto, o presente estudo procura fornecer resultados para enriquecer informações sobre o estado de conservação dos remanescentes de vegetação nativa na área.

3.2.1 Área de Proteção Ambiental (APA)

A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma das categorias de Unidades de Conservação de Uso Sustentável que, em geral, consiste em uma extensa área é constituída por terras públicas ou privadas, com um certo grau de ocupação humana (BRASIL, 2000). As áreas destinadas às APAS são dotadas de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000). A APA deve possuir quando conveniente, corredores ecológicos (BRASIL, 2000). A realização de pesquisas científicas nas APA, bem como, a exploração comercial de produtos, subprodutos ou serviços obtidos ou desenvolvidos a partir dos recursos naturais, biológicos, cênicos ou culturais ou da exploração da imagem de unidade de conservação nessa área não depende de aprovação prévia. Sua administração é presidida por órgão responsável constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme disposto em lei (BRASIL, 2000).

3.2.2 Área de Proteção Ambiental dos Pireneus (APAP)

A Área de Proteção Ambiental (APAP) dos Pireneus foi criada pelo Decreto Estadual nº 5.174, de 17 de fevereiro de 2000 (GOIÁS, 2000). Esse Decreto definiu como objetivo da APA do Pireneus proteger a região serrana e o entorno do Parque Estadual dos Pireneus; proteger os remanescentes de Cerrado; proteger os recursos hídricos; melhorar a qualidade de vida das populações residentes por meio de orientação e disciplinamento das atividades econômicas locais; o turismo ecológico, e fomentar a educação ambiental; preservar as culturas e as tradições locais.

O Plano de Manejo da APA do Pireneus foi publicado no Diário Oficial do Estado de Goiás, como portarias nº 76 retificado e aprovado por meio da presente portaria Nº 238, de 15 de março de 2024 (SEMAP, 2024). No Plano de Manejo são estabelecida as restrições de

atividades na área, que envolvem: a implantação de atividades industriais potencialmente poluidoras, que impliquem danos ao meio ambiente e afetem os mananciais de água; a implantação de projetos de urbanização, realização de obras de terraplanagem, abertura de estradas e de canais e prática de atividades agrícolas, quando essas iniciativas importarem em alteração das condições ecológicas locais, principalmente das zonas de vida silvestre; o exercício de atividades capazes de provocar erosão ou assoreamento das coleções hídricas; o exercício de atividades que impliquem em matança, captura ou molestamento de espécies raras da biota regional; o uso de biocidas e fertilizantes, quando indiscriminados ou em desacordo com as normas ou recomendações técnicas oficiais e despejo, nos cursos de água abrangidos pela APA, de efluentes, resíduos ou detritos capazes de provocar danos ao meio ambiente (SEMAD, 2024).

3.3 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas que permite a obtenção de informações sobre alvos, objetos, áreas ou fenômenos na superfície terrestre por meio remoto (MENEZES; ALMEIDA, 2012). Isso é feito por meio de sensores acoplados em aeronaves, drones e satélites artificiais, que registram imagens e informações da superfície terrestres a partir da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética (REM) com os materiais terrestres ou da REM gerada por estes materiais (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento é amplamente aplicado nas ciências ambientais e se destaca por ser uma ferramenta de possibilidade, em escala global, regional ou local, o monitoramento e a coleta de dados (quantitativos e qualitativos) sobre o grau de degradação ao meio ambiente, incluindo o acompanhamento de biomas ameaçados de extinção, alterações climáticas, níveis de poluição da água e da atmosfera, dentre outras medições possíveis (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). A rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, constitui numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental (JACINTHO, 2003).

Suas vantagens envolvem:

- O fato de que a radiação artificial pode penetrar diversos objetos na atmosfera (nuvens, chuva, luz e neve) a fim de obter a imagem ou dados de seu alvo
- Sistemas de radar, que podem fornecer informações sobre a superfície do solo de milímetros a metros de profundidade

- Muitos sensores independem da luz solar para detectar os alvos terrestres
Já suas desvantagens envolvem:
- O fato de que a radiação emitida pode ser influenciada ou interferida por outras fontes de radiação, gerando certas incertezas associadas aos fenômenos ou alvos registrados.
- A depender da qualidade ou do tipo de análise desejada das imagens, há certo custo envolvido na obtenção de imagens de satélite (GOMES; CUBAS, 2021).

Um dos satélites mais utilizados para monitorar mudanças no uso e cobertura da terra, dinâmica da vegetação, recursos hídricos e desastres naturais é o LANDSAT (EMBRAPA, 2018). Este satélite fornece imagens multiespectrais contínuas e consistentes da superfície terrestre global com resolução espacial de 30 metros e a resolução temporal é de 16 dias. Os dados do LANDSAT estão disponíveis gratuitamente e têm um arquivo de longo prazo de mais de 40 anos (NASA, 2024).

Desenvolvida pela NASA a série de satélites LANDSAT iniciou sua operação em 1972. Os satélites LANDSAT apresentam órbita circular (de polo a polo) e heliosíncrona (acompanham a Terra no movimento de translação). Atualmente possui 8 satélites lançados. O lançamento do Landsat 8 ocorreu em 11/02/2013, também como o nome do satélite LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), que opera com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) (EMBRAPA, 2021). Suas imagens são distribuídas, no Brasil, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no entanto, também podem ser adquiridas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S. Geological Survey - USGS*) que foi o responsável pelo lançamento dos oito satélites da série *Landsat*.

3.3.1 Sistema de informação geográfica

Ao adquirir as imagens e ou dados dos alvos desejados por meio do sensoriamento remoto é necessário realizar o pré-processamento, garantindo correção de ruídos, correção atmosférica, correção geométrica e georreferenciamento, se necessário, e em seguida o processamento. Todas essas etapas estão envolvidas com uso de técnicas de realizadas por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Os SIGs têm papel relevante na gestão ambiental por facilitarem o gerenciamento de informações espaciais e permitirem a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando a tomada de decisões (JACINTHO, 2003).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são constituídos por um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações

espaciais georreferenciadas (ALBUQUERQUE et al., 2012). Os dados são georreferenciados quando estes possuem basicamente duas características: dimensão física e localização espacial (ARONOFF, 1989).

Os dados tratados em SIG incluem: imagens de satélite, modelos numéricos de terreno, mapas temáticos, redes e dados tabulares (CUBAS; TAVEIRA, 2020). No SIG, os dados são armazenados como uma coleção de camadas temáticas “planos de informação” que podem ser, por exemplo, sobre solo, vegetação, hidrografia, vias, área urbana (FONSECA, 2004). Uma característica fundamental do sistema é sua capacidade de tratar as relações espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) entre os objetos geográficos, sendo essa estrutura denominada topologia. Isso permite o desenvolvimento de consultas a um banco de dados espacial, que não seriam possíveis de outra maneira (CÂMARA; QUEIROZ, 2001).

Os usos dos produtos gerados por meio do refinamento de imagens e dados espaciais são inúmeros e possibilitam o estudo de uso e cobertura da terra facilitando o diagnóstico e o planejamento ambiental (RODRIGUES; ZIMBACK; PIROLI, 2001).

3.4 Uso e cobertura da terra

Os estudos de uso e cobertura da terra são realizados por meio de uma combinação de métodos de coleta de dados, análise espacial e imagens de satélite. Esses estudos visam identificar e monitorar como a terra está sendo utilizada (uso da terra) e quais são os tipos de cobertura presente em uma determinada área (cobertura da terra). O objetivo é entender as mudanças na paisagem, como a expansão urbana, desmatamento, agricultura, áreas protegidas, entre outros (IBGE, 2013). É necessário que antes de realizar o estudo sejam definidos os objetivos específicos e o escopo. Os objetivos específicos podem ser a compreensão das mudanças na cobertura da terra ao longo do tempo, a avaliação o impacto da agricultura no meio ambiente ou o mapeamento áreas urbanas e rurais. Quanto ao escopo, esse abrange a delimitação geográfica (escala local, regional ou nacional) e o período (ano base, séries temporais etc.) (IBGE, 2022). A coleta de dados pode envolver a combinação de diversas fontes como Imagens de Satélite, Mapas Temáticos e Cartografia e Dados de Campo. Também é necessário ter em vista princípios básicos na estruturação dos estudos de uso e cobertura da terra, são eles:

- A escala de mapeamento;
- A natureza das informações básicas (se são imagens de satélite e qual sua resolução, ou se são dados de coleta de campo, por exemplo);

- A unidade de mapeamento e definição da menor área a ser mapeada;
- A nomenclatura (HEYMANN et al., 1994).

A escala dos estudos depende do nível de complexidade, detalhamento e tipo de análise que se deseja realizar. Os tipos de escala de mapeamento podem ser classificados em 3 (três) tipos:

- Mapeamentos exploratórios: abrange escalas entre 1: 750 000 a 1: 2 500 000 e são úteis no preparo de programas nacionais de desenvolvimento e abrangem extensas áreas como países ou continentes.
- Mapeamentos de reconhecimento: variam de escalas entre 1: 50 000 até 1: 750 000 e atendem ampla faixa de objetivos, perpassando pelo planejamento regional, de bacias hidrográficas, nacional e estadual.
- Mapeamentos em maiores escalas: abrangem escalas iguais ou acima de 1: 50 000, apresentando diferentes intensidades de detalhamento, atendem a problemas específicos, a decisões localizadas e se restringem a pequenas áreas (IBGE, 2013).

O levantamento de informações sobre a cobertura e uso da terra visa a classificação e conhecimento da distribuição espacial das diferentes formas de ocupação do espaço (IBGE, 2022). Constitui análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão (IBGE, 2013).

Estes estudos mapeiam as atividades humanas que exercem pressão e geram impacto sobre os elementos naturais, servindo como ponte fundamental para a análise das fontes de degradação ambiental (ALBUQUERQUE; LIMA; SOUSA, 2023; CREPANI et al., 2001; MACEDO; RIBEIRO; DA SILVA, 2021; SANTOS, 2016) Além disso, conecta as informações dos meios bióticos (seres vivos e seus ambientes) aos socioeconômicos (aspectos sociais e econômicos da sociedade), possibilitando uma compreensão abrangente das interações entre o homem e a natureza (SANTOS, 2004).

Geralmente as formas de uso e ocupação são identificadas (conforme tipo de uso), especializadas (por meio de mapas), caracterizadas (pela intensidade de uso) e quantificadas (percentual de área ocupada pelo tipo de uso). As informações descrevem não só a situação atual, mas também as modificações recentes e o histórico de ocupação da área de estudo por meio de análises espaço - temporais (SANTOS, 2004).

As classes de uso e cobertura da terra são bases essenciais para a caracterização das unidades da paisagem em Ecologia da Paisagem, e podem ser utilizadas tanto na análise

integrada com os dados de fauna e flora, quanto para o cálculo das métricas da paisagem das medidas de distância e da fragmentação de áreas naturais (REMPEL, 2009).

3.5 Ecologia da paisagem

O termo Ecologia da Paisagem, foi utilizado pela primeira vez por Troll (1971), ao estudar questões relacionadas ao uso da terra por meio de fotografias aéreas e interpretação das paisagens, sendo considerado por Zonneveld (1990), foi uma tentativa de junção entre a Geografia (em termos de paisagem) e a Biologia (Ecologia). Após discussões em congressos científicos, ficou definido que a Ecologia da Paisagem seria uma ciência holística, como uma integração do natural com o ocasionado pelo homem (NAVEH, 2000).

As definições de ecologia de paisagem podem variar em função da abordagem (“geográfica” ou “ecológica”) e do que se pretende alcançar com a análise da paisagem e dos seus componentes integradores sejam eles geomorfológicos, biológicos, humanos ou socioeconômicos (METZGER, 2001). A ecologia de paisagem pode ser entendida como: o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos (FORMAN; GODRON, 1991). Considerando então que o ser humano é um dos principais elementos que interage e influencia o ambiente em que vive e do qual faz uso é notório o seu papel na fragmentação da paisagem natural.

A fragmentação é um processo promovido pelos seres humanos, de uma unidade ambiental que inicialmente se apresentava sob forma contínua, como uma matriz (METZGER, 2001) mas que agora se encontra em fragmentos menores e, por vezes, desconectados ou em diversos níveis de conexão. As causas da fragmentação podem ser diversas, dentre as principais estão: o desmatamento, a mineração, a degradação, a agropecuária e a urbanização (BRASIL, 2003). Diante disso, fragmentos, em ecologia de paisagem, podem ser definidos como umas manchas originadas por fragmentação, por exemplo, por subdivisão, promovida pelo homem, de uma unidade que inicialmente se apresentava sob forma contínua, como uma matriz (MCGARIGAL et al., 2002). A delimitação dos tipos de fragmentos é imposta artificialmente e são de fato significativos apenas quando referenciados a uma escala específica (por exemplo, tamanho e extensão da área observada)(MCGARIGAL et al., 2002). Alguns dos principais problemas decorrentes da fragmentação são a perda de biodiversidade, ruptura do regime hidrológico, perda da qualidade, parcial ou total, dos recursos naturais nos fragmentos.

Dentre as áreas que mais são afetadas pela fragmentação estão as florestas e as savanas. A subdivisão de áreas de florestas contínuas em fragmentos gera redução de seu tamanho,

seguido do aumento da distância entre os fragmentos, e ainda num aumento de novos habitats, que surgem nas bordas dos fragmentos (ANDREN, 1994). O microambiente numa borda de fragmento é diferente daquele do interior da floresta, seja pelo aumento de disposição de luz, maior exposição a intempéries e ou a predadores (PEREIRA et al., 2001; PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Resulta em perda líquida de espécies vegetais e animais nas áreas de borda (SKOLE; TUCKER, 1993).

O estudo da ecologia de paisagens pode ser usado como ferramenta de gestão e planejamento ambiental pois permite análise combinada dos múltiplos elementos interatuantes no ambiente e pode ser observada como um conjunto de unidades naturais, alteradas ou substituídas por ação humana, que compõe o mosaico (REMPTEL, 2009).

Em termos técnicos a estrutura contendo manchas, corredores e matriz forma o mosaico da paisagem (FORMAN; GODRON, 1991). A ligação entre os elementos de uma mesma classe de uso de terra gera um fator de conectividade em uma paisagem. Os corredores - áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e que apresentam disposição espacial linear (METZGER, 2001) - permitem o movimento e intercâmbio genético entre animais e plantas de uma mancha de território a outra e as barreiras inibem tais trocas de uma (SOARES FILHO, 1998). Dessa mesma forma, o conceito de mancha, em ecologia de paisagem, se dá como uma área homogênea, restrita e não-linear da paisagem que se distingue das unidades vizinhas.

Do conceito de conectividade, ou seja, da ligação das manchas por meio de corredores, surge o conceito de matriz (METZGER, 2001). Como numa visão de fragmentos embebidos em uma massa, a matriz de uma paisagem pode ser definida como o seu elemento mais extensivo e conectado e que possui o papel preponderante no funcionamento da paisagem (FORMAN; GODRON, 1991).

Como a ecologia da paisagem trabalha com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, é fundamental quantificar com precisão os padrões espaciais e uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas da paisagem” ou “índices da paisagem” (REMPTEL, 2009).

3.5.1 Métricas da paisagem

Para identificar e caracterizar mudanças de uso da terra, o uso de métricas da paisagem é amplamente difundido. Como índices da estrutura da paisagem, as métricas são algoritmos que quantificam características espaciais de fragmentos isoladamente, em conjunto, ou de todo

o mosaico da paisagem (COUTO, 2004). A estrutura da paisagem se constitui do padrão de uma paisagem, que é determinado pelo seu tipo de uso, mas também pelo seu tamanho, forma, disposição, conectividade e distribuição de elementos individuais da paisagem (MCGARIGAL et al., 2002). Para a delimitação destes elementos paisagísticos, ou manchas, dá-se o nome de uso do solo ou unidades de cobertura. Desse modo, “cobertura do solo” se refere às características físicas da superfície de terreno (por exemplo, a vegetação ali encontrada ou a presença de estruturas construídas), enquanto “uso da terra” descreve as funções econômicas e sociais dessa terra (HAINES-YOUNG, 2009).

O cálculo das métricas são feitos a partir de mapas categóricos, ou seja, formados por classes ou unidades descontínuas como, tipo de vegetação, classes de uso e ocupação do solo, unidades pedológicas, dentre outros (CULLEN; RUDRAN; VALLADARES-PADUA, 2006). Os mapas categóricos, geralmente, são obtidos por meio de interpretação visual e fotografias aéreas ou da classificação de imagens de satélites. Normalmente, se considera que um mapa produzido por classificação numérica tem que apresentar, no mínimo, uma acuidade de 85% (ou 15% de erro).

Uma das formas mais comuns de realizar a análise de variações no grau de fragmentação é por meio de classes de tamanho dos fragmentos, visto que esse é obtido a partir de número de fragmentos e da área total destes. Sendo o estudo do tamanho de fragmentos essencial para o estudo de estratégias para conservação da biodiversidade(VIANA; TABANEZ; MARTINEZ, 1992). Para se ter ideia, sabe-se que menos de 500 ha de área de conservação é insuficiente para muitas espécies de plantas e animais, além de possibilitar alto grau de degradação por um histórico de perturbações diversificado (incêndios, caça, extrativismo, predação) e pelo efeito de borda (VIANA; PINHEIRO, 1998). Dentre os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais estão: o tamanho, a forma, o grau de isolamento, o tipo de vizinhança e o histórico de perturbações. Esses fatores apresentam relações com fenômenos biológicos que afetam a natalidade e a mortalidade de plantas como, por exemplo, o efeito de borda, a deriva genética e as interações entre plantas e animais (VIANA; TABANEZ; MARTINEZ, 1992)e serão abordados nesse estudo.

3.6 Biomassa e estoque de Carbono

A biomassa e o estoque de carbono estão intimamente ligados e desempenham papel crucial no ciclo global do carbono. Compreender essa relação é fundamental para combater as mudanças climáticas e promover a sustentabilidade ambiental.

Biomassa se refere à massa de organismos vivos, incluindo plantas, animais e microrganismos, ou, de uma perspectiva bioquímica, celulose, lignina, açúcares, gorduras e proteínas. A biomassa inclui os tecidos acima e abaixo do solo das plantas, por exemplo, folhas, galhos, troncos, troncos, bem como raízes de árvores e rizomas de gramíneas (JØRGENSEN; FATH, 2018) geralmente expressa em toneladas por hectare (t/ha) ou megagramas por hectare (Mg/ha). Ela engloba todos os organismos vivos, desde microrganismos até árvores, e os restos orgânicos em decomposição. Os vegetais apresentam capacidade natural de fixar CO₂ da atmosfera, por meio da fotossíntese, e sob a forma de carbono na biomassa lenhosa, folhas e raízes em seus compartimentos aéreos, subterrâneos, como também o solo (CHENG; WANG; JIANG, 2007). Em termos de energia, a existem diversas rotas tecnológicas para a utilização da biomassa com a finalidade de se produzir energia elétrica, envolvendo a transformação da biomassa, por meio de processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos (NASCIMENTO, 2012). No Brasil, a biomassa utilizada para energia se encontra na forma de Bagaço de Cana, Licor Negro, Resíduos de madeira, Biogás, Carvão vegetal, Casca de arroz, Óleo de palmiste e Capim elefante (ANEEL, 2024).

O estoque de carbono representa a quantidade total de carbono armazenada em um ecossistema. Essa quantidade pode estar presente na biomassa, no solo, na água e em outros componentes do ecossistema. É medido, também, em unidades de carbono por hectare (t C/ha) ou megagramas de carbono por hectare (MgC/ha) (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). Em geral, cerca de 45% a 60% da biomassa vegetal é composta por carbono em florestas naturais (AREVALO; ALEGRE; MONTOYA VILCAHUAMAN, 2002; CUNHA et al., 2009; SILVEIRA et al., 2008). Isso significa que, quanto maior a biomassa, maior será o estoque de carbono no ecossistema. Diversos fatores podem influenciar a quantidade de biomassa e o estoque de carbono em um sistema, incluindo tipo de vegetação, idade e saúde da vegetação, condições do solo e distúrbios antrópicos (FALLOON et al., 2007; LAL, 2005; SMITH, 2008).

A biomassa e o estoque de carbono são essenciais para diversos aspectos ambientais como na regulação do clima, na manutenção da biodiversidade, na proteção do solo e no ciclo de nutrientes. Dentre as técnicas usadas para medir a biomassa e o estoque de carbono, as mais comuns são por meio de inventários florestais, sensoriamento remoto e análise do solo (SILVEIRA et al., 2008). Os métodos de inventário florestal e análise do solo fornecem medições diretas e bastante precisas das dimensões e do volume de biomassa acima e abaixo do solo em uma área, no entanto esses métodos despendem de mais tempo e recursos comparado ao método do sensoriamento remoto. O método de sensoriamento remoto fornece uma

estimativa de parâmetros biofísicos, como biomassa, estoque de carbono e volume de madeira, pelas propriedades espectrais dos componentes da vegetação (troncos, galhos, folhas etc.). A utilização dessa técnica em florestas heterogêneas se torna mais complexa devido à grande diversidade florística, fisionômica e fenológica que esse tipo florestal apresenta. Além disso, é necessário um periódico suprimento de dados de inventários e trabalho de campo para alimentar os bancos de dados que utilizam tecnologias de sensoriamento remoto. No entanto a alternativa de sensoriamento fornece uma possibilidade de inventariar grandes áreas, boa aproximação com as medidas dos métodos diretos e menor despendimento de tempo e energia (SILVEIRA et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental dos Pireneus (APAP), localizada no estado de Goiás (GO), distante aproximadamente 150 km tanto de Brasília, como de Goiânia. As coordenadas que delimitam a APAP são: 15° 44' 40.82" S/ 48° 49' 45.93" O ao Norte, 15° 45' 52.45" S/ 48° 45' 34.18" O ao Leste, 15° 52' 57.38" S/ 48° 54' 05.93" O ao Sul e 15° 48' 39.01" S/ 48° 58' 38.64" O a Oeste (Figura 1). A APAP abrange aproximadamente 22.880 hectares e um perímetro de 73.400 metros, distribuída entre os municípios de Pirenópolis, Cocalzinho de Goiás e Corumbá de Goiás (SEMAD, 2024).

A área de estudo está localizada inteiramente no bioma Cerrado, incluindo as fitofisionomias de Cerrado sentido restrito, Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Rupestre, Campo de Murundus, Campo Limpo, Cerradão, Floresta de Galeria e Veredas (BOSQUETTI, 2008). As principais atividades econômicas desenvolvidas na região envolvem a agropecuária, a silvicultura, a mineração e, em grande maioria, o turismo (SEMAD, 2024). É importante citar alguns de seus principais problemas que envolvem a ocupação urbana desordenada, desmatamento ilegal para fins agropecuários, captação de água irregular para irrigação e a caça de animais silvestres (SEMAD, 2024).

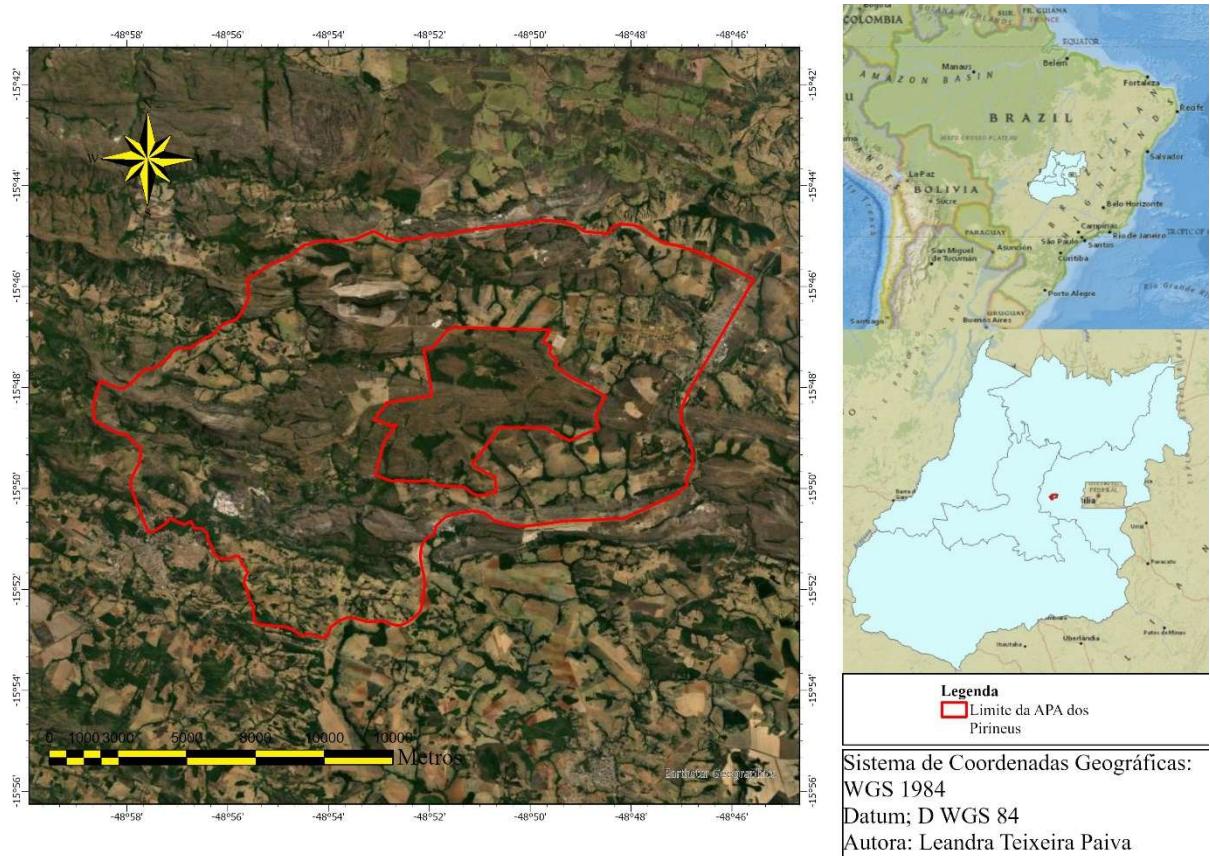


Figura 1. Localização da Área de Proteção Ambiental dos Pirenéus, no estado de Goiás.

O clima em que a APAP está inserida é caracterizada pela ocorrência de clima Tropical do Brasil Central do tipo semiúmido (IBGE, 2002). Na área são explorados minerais como calcário, quartzito, água mineral e areia (ANM, 2024). O relevo local se manifesta em uma alternância de serras, colinas tabulares e planalto rebaixado aplainado (BOSQUETTI, 2008). A APAP está situada majoritariamente no domínio conhecido por Planalto do Alto Tocantins Paranaíba, e uma pequena porção da Superfície Intermontana Urucu Ceres aparece a sudoeste da APAP (CPRM, 2003). Foram identificadas quatro classes pedológicas dentro da área de abrangência da APAP, sendo que na distribuição e compartimentação dos solos predominam o Latossolo vermelho-amarelo com 48,49% de ocorrência na área total, seguido por Cambissolo Háplico Tb Distrófico com 25,68%, Latossolo Vermelho Distrófico com 12,25% e Neossolo Litólico Distrófico com 13,43% (SEMAD, 2024).

4.2 Preparação do mapa de uso e cobertura da terra

Os mapas de uso e cobertura da terra utilizados foram extraídos por meio do *asset* de dados do MapBiomas no *Google Earth Engine* (MAPBIOMAS, 2024). Assim, foram feitos os

downloads para os mapas de uso e cobertura da terra selecionados para Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020. O MapBiomass utiliza imagens do satélite Landsat, com resolução de 30 metros, disponibilizadas gratuitamente na plataforma *Google Earth Engine* (GOOGLE, 2024). A coleção de mapas utilizada foi a Coleção 8, acurácia global de 84,7% (MAPBIOMAS, 2024).

4.3 Reclassificação dos mapas de uso e cobertura ArcGis

As imagens de cada ano foram reclassificadas de modo a possibilitar melhor visualização e análise do histórico de uso da terra. As imagens obtidas do *Google Earth Engine* possuem 15 classes de uso de terra (Formação Florestal; Formação Savânica; Área Pantanosa; Formação Campestre; Afloramento Rochoso; Água; Agricultura; Pastagem; Mosaico de Agricultura e Pastagem, Mosaico de Culturas; Soja; Silvicultura; Infraestrutura Urbana; Desmatamento e Mineração). A reclassificação ocorreu de modo a estabelecer nove classes de uso de solo: Floresta (Formação Florestal); Savana (Formação Savânica); Área úmida (Área Pantanosa); Campestre (Formação Campestre); Rupestre (Afloramento Rochoso); Água; Agropecuária (Pasto e Agricultura); Silvicultura e Uso antrópico (Tabela 1). Também foram confeccionados mapas reclassificados dividindo as classes anteriores em duas classes de uso de terra para a análise da fragmentação da paisagem, sendo as áreas naturais (juntando as classes Floresta, Savana, Área úmida, Campestre, Rupestre e Água) e as áreas de uso antrópico (juntando as classes Agricultura; Pastagem; Mosaico de Agricultura e Pastagem, Mosaico de Culturas; Soja; Silvicultura; Infraestrutura Urbana; Desmatamento e Mineração). Esta última doravante denominada de área antropizada.

Tabela 1. Características dos dados utilizados no estudo.

Fonte	Tipo de Dados	Dados	Data/ Período	Escala/ Resolução
MapBiomass / <i>Google Earth Engine</i>	Raster	Mapas de Uso da terra	1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020	30 x 30 m
SEMAP	Vetor	Delimitação da APA dos Pirineus	2024	1:100.000
NASA/ORNL <i>Carbon biomass dataset/ Google Earth Engine</i>	Raster	Densidade global de estoque de carbono acima e abaixo do solo (SPAWN e GIBBS, 2020)	2010	300 m

4.4 Extração de dados no programa Fragtstats

A análise da fragmentação foi conduzida a partir dos mapas temáticos produzidos no programa ArcGIS. Para descrever o nível de fragmentação da paisagem natural, bem como, suas métricas, foi utilizado o programa Fragstats® versão 4.2 (MCGARIGAL et al., 2002).

Os índices selecionados, mencionados a seguir, utilizados nos cálculos das métricas da paisagem possibilitaram quantificar os elementos da paisagem, estimando área, densidade, forma, área central, proximidade e isolamento, contágio e dispersão.

4.4.1 Métricas de área e densidade

Foram calculados o número de fragmentos (NP) em termos de fragmento (*patch*) e obteve a quantidade de fragmentos para cada tipo de classe de uso e cobertura da terra, sendo o número de fragmentos uma medida simples da extensão da subdivisão ou fragmentação da classe de uso de terra (MCGARIGAL et al., 2002). Foram extraídos o número de fragmentos de áreas naturais em três classes de tamanhos, sendo considerados como pequenos (menores de 0,5 ha), médios (entre 0,5 e 50 ha) e grandes (maiores que 50 ha). Além disso, foram realizados testes de Cox-Stuart a fim de testar se ocorreu alguma mudança significativa do arranjo dos fragmentos, ou seja, redução ou aumento de número de fragmentos pequenos, médios e grandes. Esse é um teste usado para determinar se uma série temporal tem tendência crescente ou decrescente (COX; STUART, 1955).

Também foram calculadas a porcentagem da paisagem que é ocupada pela maior mancha de vegetação nativa (LPI), e a porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND) e a área média dos fragmentos (AREA_MN). O LPI (*Largest Patch Index*) corresponde à área (m^2) do maior fragmento da classe, neste caso área natural, dividido pela área total da paisagem (m^2), multiplicado por 100 (para converter para porcentagem). Em síntese, o LPI é a porcentagem da paisagem compreendida pelo maior fragmento (MCGARIGAL et al., 2002). Portanto, quanto mais perto de 0 o maior fragmento da classe correspondente é cada vez menor e quanto mais próximo de 100 maior fragmento da classe correspondente é cada vez maior, abrangendo melhor a paisagem (MCGARIGAL et al., 2002).

4.4.2 Métricas de forma

Para o cálculo da forma dos fragmentos foi utilizado o Índice médio de circularidade dos fragmentos (CIRCLE). O índice médio de circularidade dos fragmentos (CIRCLE)

compara a circularidade das manchas que varia de 0 (para manchas mais circulares) a 1 (para manchas mais alongadas e lineares) (MCGARIGAL et al., 2002).

4.4.3 Métricas de área central

Foram selecionadas duas métricas, o número de áreas centrais disjuntas (NDCA) e o índice de área central médio (CAI_MN).

O número de áreas centrais disjuntas (NDCA) é igual à soma do número de áreas centrais disjuntas contidas em cada mancha do tipo de classe correspondente, isto é, o número de áreas centrais disjuntas contidas na paisagem. Esse índice corresponde à soma do número de áreas centrais disjuntas contidas em cada classe de fragmento e varia de valores igual ou maior que 0 (zero) (MCGARIGAL et al., 2002). Sendo 0 quando todos os locais dentro do fragmento estão dentro da distância de borda especificada (90 metros para esse estudo) e acima desse valor há maior desmembramento de áreas centrais e maior complexidade do formato do fragmento (MCGARIGAL et al., 2002).

O índice de área central médio (CAI_MN) quantifica a área central como uma porcentagem da área da mancha (ou seja, a porcentagem da mancha que é composta pela área central). A área central se refere à área interna dos fragmentos após a eliminação de uma distância de borda especificada pelo usuário. Para o cálculo das métricas foi considerado 90 metros de distância de borda, visto que, o tamanho de pixel da imagem (de 30 m). Este índice varia de 0 a 100, sendo 0 quando não possui área central e 100 quando é composto, principalmente, de área central devido ao tamanho, a forma e à largura de borda (MCGARIGAL et al., 2002).

4.4.4 Métricas de proximidade e isolamento

Foram selecionados os índices de proximidade média (PROX_MN) e o índice de agregação (AI), para a medição da proximidade e isolamento dos fragmentos, respectivamente. Para o cálculo dessas métricas é necessário definir um raio de pesquisa, onde serão buscados os fragmentos de vegetação natural próximos ao fragmento fonte. No presente estudo, foi utilizado o valor de 1.000 metros para o raio de procura, essa escolha de raio teve como base o tamanho da área de estudo e a resolução espacial dos pixels das imagens e a análise de estudos anteriores (GALETTI, 2013; LOCH et al., 2013; PIVELLO et al., 2006; RODRIGUES; UTSUMI, 2019). Este índice considera o tamanho e a proximidade de todos os fragmentos cujas

bordas estão dentro de um raio de busca especificado a partir do fragmento central (MCGARIGAL et al., 2002).

O PROX_MN considera que o tamanho e proximidade de todos os fragmentos cujas bordas estão dentro de um raio de pesquisa especificado do fragmento central focal (MCGARIGAL et al., 2002). Esse índice quantifica a distância borda a borda entre os fragmentos com base no fragmento vizinho mais próximo, considerando o mesmo tipo de vegetação (GUSTAFSON; PARKER, 1992; WHITCOMB et al., 1981). O PROX_MN é adimensional (ou seja, não tem unidades) e, portanto, o valor absoluto do índice tem pouco valor interpretativo; em vez disso, é usado como um índice comparativo. O PROX-MN varia de valores iguais a maiores que 0 (zero), enquanto mais próximos de 0 menores as chances de um fragmento de classe determinada apresentar algum vizinho dentro do raio de busca (MCGARIGAL et al., 2002). O índice PROX aumenta à medida que a vizinhança é cada vez mais ocupada por fragmentos da mesma classe e com isso se tornam mais próximos e mais contíguos (ou menos fragmentados) na distribuição (MCGARIGAL et al., 2002). Sendo que o seu limite superior é afetado pelo raio de pesquisa e o mínimo pela distância entre os fragmentos.

O índice de agregação (AI) é igual a 0 quando o fragmento central da classe é desagregado ao máximo, ou seja, quando não há adjacências semelhantes. O AI aumenta conforme é cada vez mais agregado, chegando a 100 quando o fragmento central atinge a agregação máxima com outros fragmentos de mesma classe (MCGARIGAL et al., 2002).

4.4.5 Métricas de contágio e dispersão

Foi utilizado o índice de coesão (COHESION) para quantificar, em nível de classe, a conectividade entre os fragmentos (MCGARIGAL et al., 2002). Esse índice varia entre 0 e 100, sendo 0 o menor nível de conectividade, ou seja, proporção da paisagem composta pela classe estudada diminui e se torna cada vez mais subdividida e menos fisicamente conectada. Por outro lado, 100 o maior nível de conexão, ou seja, a classe de fragmento estudado se torna mais agrupada na sua distribuição; portanto, mais conectado fisicamente (DAMBROWSKI; MARENZI, 2023).

4.5 Estimativa de estoque de Carbono

As estimativas de estoque de carbono foram obtidas a partir de dados disponibilizados pela NASA/ORNL (*Oak Ridge National Laboratory*), através da plataforma do *Google Earth*

Engine. Este conjunto de dados fornece mapas globais harmonizados e temporalmente consistentes do estoque de carbono da biomassa, para o ano de 2010, com resolução espacial de 300 m (SPAWN et al., 2020). O mapa de estoque de carbono acima do solo integra mapas específicos de cobertura da terra e de sensoriamento remoto de biomassa lenhosa, herbácea, de pastagens e de terras agrícolas. O mapa de estoque de carbono abaixo do solo integra de forma semelhante mapas correspondentes derivados de cada mapa de biomassa acima e abaixo do solo e modelos empíricos específicos de cobertura do solo (SPAWN et al., 2020).

Para o presente estudo foram utilizados os mapas de cobertura da terra reclassificados, como citados no tópico 4.3 deste trabalho, para extrair quantidades médias de estoque de carbono para cada uso de terra e para cada ano (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020), com o resultado em megagramas de carbono por hectare (MgC/ha). Em seguida, essas médias foram multiplicadas pela área em hectares de cada classe de terra, gerando assim a quantidade de estoque de carbono para cada classe de uso de terra e, posteriormente, foi calculado a percentagem desse estoque para cada uso de terra na área. Por fim, foram comparados os estoques entre os anos estudados, a partir do teste de Cox-Stuart a fim de atestar se ocorreu mudança significativa na quantidade de estoque de carbono entre 1985 e 2020 dentre as diferentes classes de áreas naturais e áreas antropizadas.

5 RESULTADOS

5.1 Dinâmica de uso e cobertura da terra

Houve aumento das áreas antropizadas, bem como diminuição das áreas naturais durante o período avaliado (Tabela 2). Antes da criação da APAP, entre 1985 e 1995, a taxa de redução no tamanho das áreas naturais foi, em média, de 4,18% ao ano, ao passo que após a criação da APAP, entre 2000 e 2020, a taxa média foi de 0,54% ao ano. Em 2020 a percentagem de áreas naturais chegou a 59,52% e a de áreas antropizadas 49,48%, o menor e maior valor da série histórica para cada tipo uso de solo.

Entre as categorias de usos de terra classificados como áreas naturais as que mais apresentaram perda de área foram Formação Savânica e a Formação Campestre. A Formação Savânica apresentou redução de 3.187,544 hectares entre 1985 e 2020, ou seja, a APAP perdeu cerca de 16,42% dessa formação (Tabela 2). Entre 1985 e 2000 a perda da área foi de 11,37% e entre 2000 e 2020 foi de 5,05%. A Formação Campestre apresentou redução de 179,951 hectares entre 1985 e 2020, ou seja, perdeu cerca de 0,93% nesse período (Tabela 2). Entre 1985 e 1990 houve diminuição de 1,24 % da área, mas de 2000 a 2020 houve pequeno aumento de 0,31% para esta formação. O aumento, especialmente entre os anos 2005 e 2015, pode ser explicado pela queda na produção agropecuária durante esses anos o que permitiu leve avanço das Formações Campestres próximas às propriedades nas quais a atividade é desenvolvida na área (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020; JÚNIOR; ROMANATTO, 2017).

Cabe ressaltar que as áreas antropizadas, que comportam tanto espaços urbanos quanto de desmatamento, apresentaram perda de 2,13% durante todo o período (1985 a 2020), diminuição de 2,72% entre 1985 a 2000 e, posteriormente, aumento de 0,59% entre 2000 e 2020 (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de uso e cobertura da terra (hectare), para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil

Classes de uso dos solos	Anos							
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Floresta	2.700,28	2.459,64	2.456,65	2.731,91	2.829,85	3.035,38	3.146,96	3.215,76
Savana	10.140,41	9.462,29	8.275,61	7.932,75	7.527,99	8.041,70	7.458,88	6.952,87
Área úmida	18,41	10,65	8,35	10,31	17,81	25,65	26,93	21,48
Campestre	655,35	498,59	469,86	414,88	540,02	513,42	522,54	475,40
Rupestre	878,699	878,529	881,939	879,552	880,489	879,466	880,319	879,552
Água	10,82	12,10	4,00	2,30	4,34	6,56	5,11	7,33

Agropecuária	4.200,58	5.713,2	6.910,59	7.060,02	7.236,31	6.460,92	6.734,56	7.132,31
Silvicultura	0	42,19	85,41	100,33	67,51	118,91	285,56	332,96
Uso								
antrópico	803,51	330,82	315,66	276,02	303,81	326,06	347,20	390,41
Área Total	19.408,10							

Entre 1985 a 2020 as áreas que tiveram maior crescimento foram a Agropecuária (15,11%), Formação Florestal (2,66%) e Silvicultura (1,72%) (Tabela 2). Nota-se que a Formação Florestal teve seu crescimento mais acentuado após a criação da APAP (2000 a 2020), cerca de 2,49%, em comparação com o período anterior, antes da criação da UC (1985 a 2000), no qual havia apresentado crescimento de apenas 0,16%. As áreas de Agropecuária e Silvicultura tiveram aumento de 14,73% e 0,52%, respectivamente, entre 1985 e 2000 e leve crescimento de 0,37% e 1,20%, respectivamente entre 2000 e 2020, após a criação da UC. Sendo que o menor crescimento de áreas de Silvicultura antes de 2000 pode ser explicado pelo seu recente estabelecimento após 1985. É importante ressaltar que o crescimento da área de Silvicultura de 0,52% ocorreu em 15 anos, já o crescimento de 1,20%, ocorreu em 20 anos.

Áreas úmidas e Água (ou corpos d'água) apresentaram grandes variações ao longo do período analisado e tiveram redução entre 1990 e 2000 (Tabela 2). Esta redução pode ser explicada pelo fato de terem sofrido com o avanço das atividades agrossilvipastoris a partir da década de 90 (JÚNIOR; ROMANATTO, 2017). Além disso, apenas em 1995 foram publicados leis e decretos estaduais (mais especificamente, a Lei nº 12.596/1995 e o Decreto nº 4.593/1995) que deram início à regulamentação e disciplinamento de preservação de faixas de vegetação que margeiam nascentes, cursos d'água, lagos e lagoas, da vegetação nativa, de áreas de preservação permanente e de reserva legal no estado de Goiás, mas que levaram certos anos para surtir efeito na recuperação dessas áreas. Além disso, as mudanças climáticas também podem ter influenciado a diminuição dessas duas classes de cobertura da terra, uma vez que o Cerrado tem se tornado mais quente e mais seco (HOFMANN et al. 2021; 2023).

Quanto às áreas de uso antrópico uma explicação para a sua queda entre os anos 1985 e 1990 pode ser o declínio da exploração de certos minérios nessa região, que ocorria desde o século 18, muitas pessoas migraram da região para outros centros urbanos (JÚNIOR; ROMANATTO, 2017).

A evolução do uso e cobertura da terra no período entre 1985 e 2020 para as áreas naturais e antropizadas pode ser observada na Figura 2.

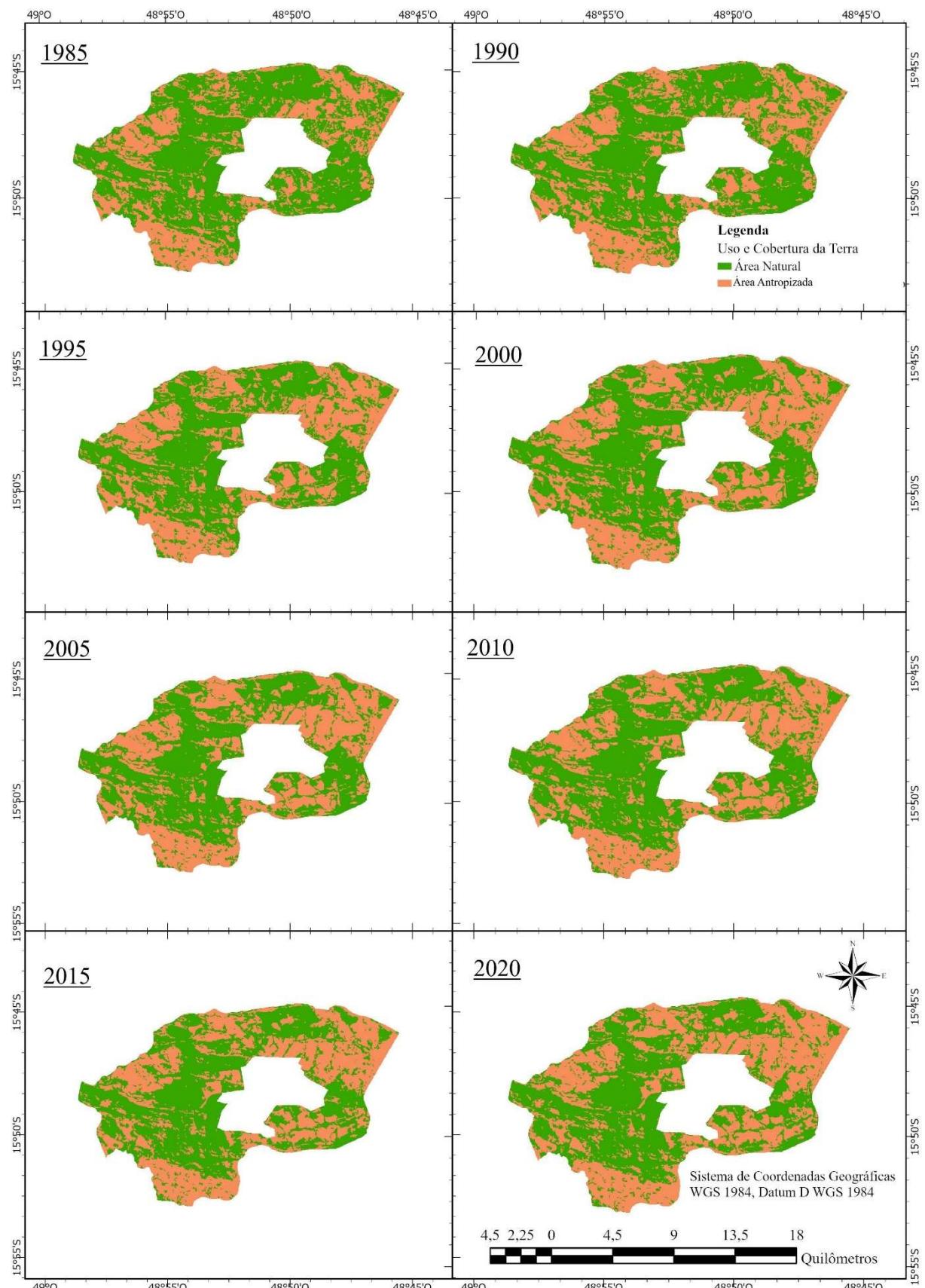


Figura 2. Evolução do uso e cobertura da terra no período de 1985 a 2020, considerando as categorias áreas naturais e áreas antropizadas, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

5.2 Fragmentação das áreas naturais

Não houve diferença significativa nas tendências de classes de tamanho dos fragmentos de áreas naturais durante todo o período, pelo teste Cox-Stuart; o valor-p para cada classe de solo foi, respectivamente, 0,625, 0,625 e 0,125 para as classes de fragmentos pequenos, médios e grandes. Indicando assim, certa estabilidade no número de fragmentos por classe, pois todos são maiores que o valor 0,05 de significância. No entanto, é possível observar prevalência de fragmentos médios (0,5 – 50 ha), seguido de fragmentos pequenos (<0,5 ha) e grandes (> 50 ha), respectivamente em todos os anos (Tabela 3). Em 1985 o menor e o maior fragmento de área natural foram de 0,09 ha e 13.784,87 ha, respectivamente. Já em 2020 o menor e o maior fragmento de área natural foram 0,09 ha e 10585,567 ha.

Tabela 3 - Número de fragmentos de Áreas naturais estimados para 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 em classes de tamanho na Área de Proteção Ambiental Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

Classes de Tamanho	Número de fragmentos (NP) absoluto e percentual nos anos							
	1985	%	1990	%	1995	%	2000	%
Pequenos (<0,5 ha)	14	17,51	43	27,92	54	26,13	24	23,88
Médios (0,5 – 50 ha)	100	79,72	129	69,06	134	71,43	170	72,76
Grandes (> 50 ha)	2	2,76	4	3,02	6	2,44	5	3,36
Todos (0 a > 50 ha)	116	100	176	100,00	194	100,00	199	100,00%
	2005	%	2010	%	2015	%	2020	%
Pequeno (<0,5 ha)	24	20,21	34	25,62	32	24,10	47	21,84
Médio (0,5 – 50 ha)	153	75,89	145	71,17	157	73,02	153	74,74
Grande (> 50 ha)	5	3,90	4	3,20	5	2,88	4	3,41
Todos (0 a > 50 ha)	182	100	183	100	194	100	204	100

A porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND%), nesse caso de áreas naturais, variou de 74,22%, no ano 1985, a 59,52%, no ano 2020, com redução de 14,69% durante o período avaliado (Figuras 3a). Entre 1985 a 2020, o índice PLAND% apresentou redução média de 2,09% a cada 5 anos. A maior redução ocorreu entre 1985 e 2000, com perda

de 12,53% (em relação ao ano 1985), sendo que, de 2000 a 2020, houve desaceleração de perda de 2,19% (em relação ao ano 2000).

O índice porcentagem da paisagem que é ocupada pela maior mancha (LPI) apresentou redução de 16,48% entre 1985 e 2020 (Figura 3b). As maiores quedas ocorreram entre 1985 e 2000 com perda de 25,15% (em relação ao ano 1985), em contraponto com o período de 2000 a 2020, no qual houve aumento de cerca de 8,67% (em relação ao ano 2000).

O tamanho médio dos fragmentos de área natural (ÁREA_MN) apresentou redução entre 1985 e 2020 (Figura 3c). Neste período, esse índice foi de 124,18 ha, em 1985, para 59,63 ha, em 2020 (redução de 67,54 ha), e apresentou perda média de aproximadamente 9,64 hectares a cada 5 anos. As maiores quedas ocorreram entre 1985 e 2000 com perda de 51,55% (em relação ao ano 1985), sendo que, de 2000 a 2020, houve desaceleração de perda de 5,86% (em relação ao ano 2000).

O índice médio de circularidade dos fragmentos (CIRCLE_MN) apresentou pouca variação durante todo o período estudado, mas com tendência a diminuir. Em 1985 foi de 0,59 e em 2020 de 0,54 (Figura 3d). Sendo assim, os fragmentos de área natural apresentaram, em média, formatos intermediários de fragmentos entre 1985 e 2020.

O número de áreas centrais disjuntas (NDCA) apresentou aumento de 35,65%, no intervalo de 1985 a 2020 (Figura 3e). O índice de área central média (CAI_MN), que indica qual porcentagem do fragmento que é formado de área central, apresentou média de 1,66% e não apresentou grandes variações durante o período, mas com tendência à redução (Figura 3f). Entre 1985 e 2005 apresentou aumento de 0,17% e após esse período diminuiu 1,05% até 2020.

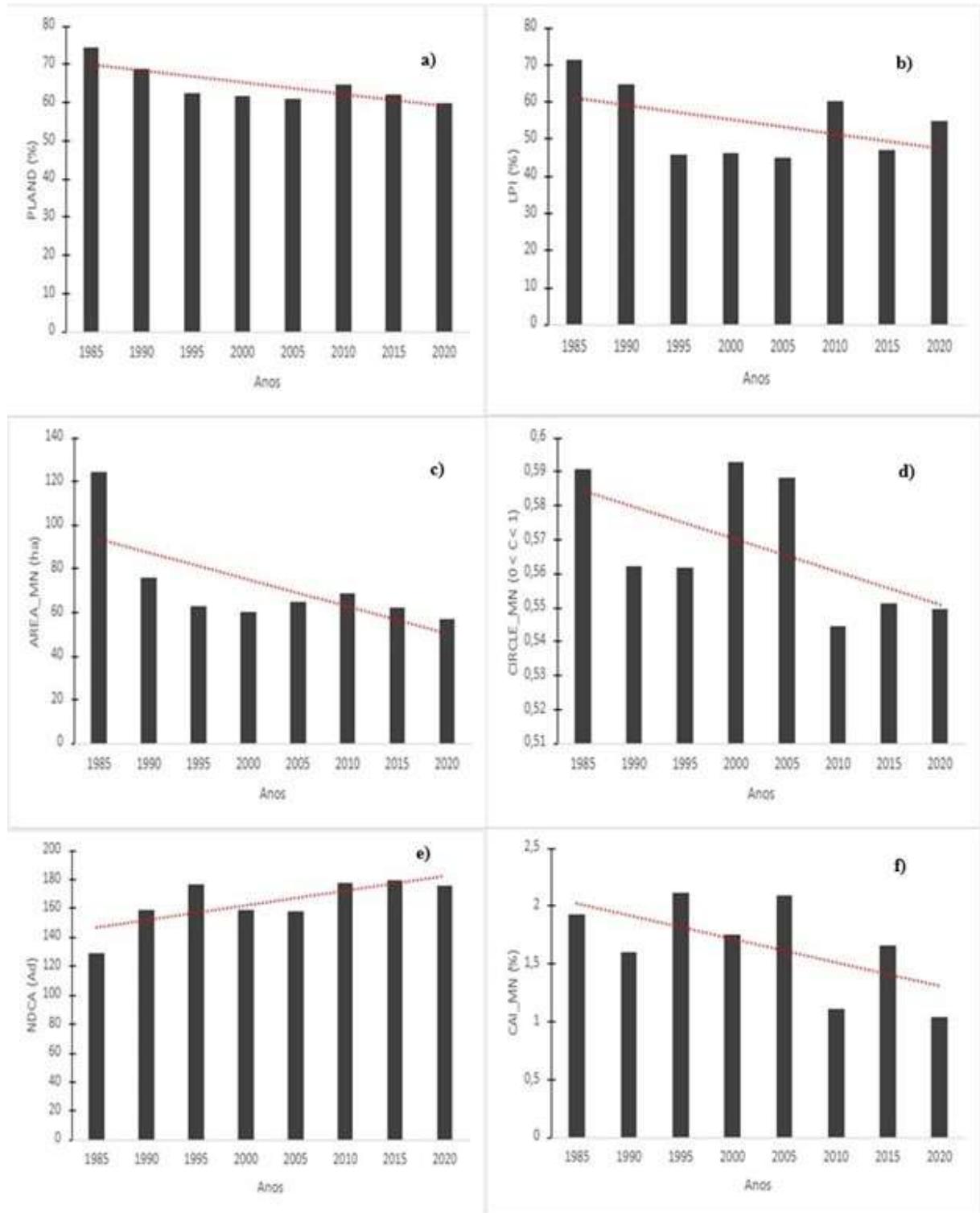


Figura 3. Índices PLAND, LPI, AREA_MN, CIRCLE_MN, NDCA, CAI_MA para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, para a Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

O índice de proximidade (PROX-MN) apresentou diminuição de 46,05% entre 1985 e 2020, indicando afastamento entre os fragmentos (Figura 4a). As maiores reduções ocorreram

entre 1985 e 2000, com perda de 64,02% (em relação ao ano 1985), em contraponto com o período de 2000 a 2020, no qual houve aumento de cerca de 49,95% (em relação ao ano 2000).

O índice de conectividade (COHESION) para o período de 1985 a 2020 permaneceu próximo a 100%, para todos os anos analisados (Figura 4b). No entanto, houve redução de 0,07% entre 1985 e 2020, com média de diminuição de conectividade de 0,01% a cada cinco anos. As maiores quedas ocorreram entre 1985 e 2000, com perda de 0,19% (em relação ao ano 1985), em contraponto com o período de 2000 a 2020, no qual teve aumento de cerca de 0,11% (em relação ao ano 2000).

O índice de agregação (AI) apresentou queda de 1,50% em todo o período estudado (1985 a 2020), porém foi superior a 94%, indicando bom nível de agregação entre os fragmentos de áreas naturais (Figura 4c). As maiores quedas ocorreram entre 1985 e 2000, com perda de 1,08% (em relação ao ano 1985), sendo que, entre 2000 a 2020, houve desaceleração de perda de 0,41% (em relação ao ano 2000).

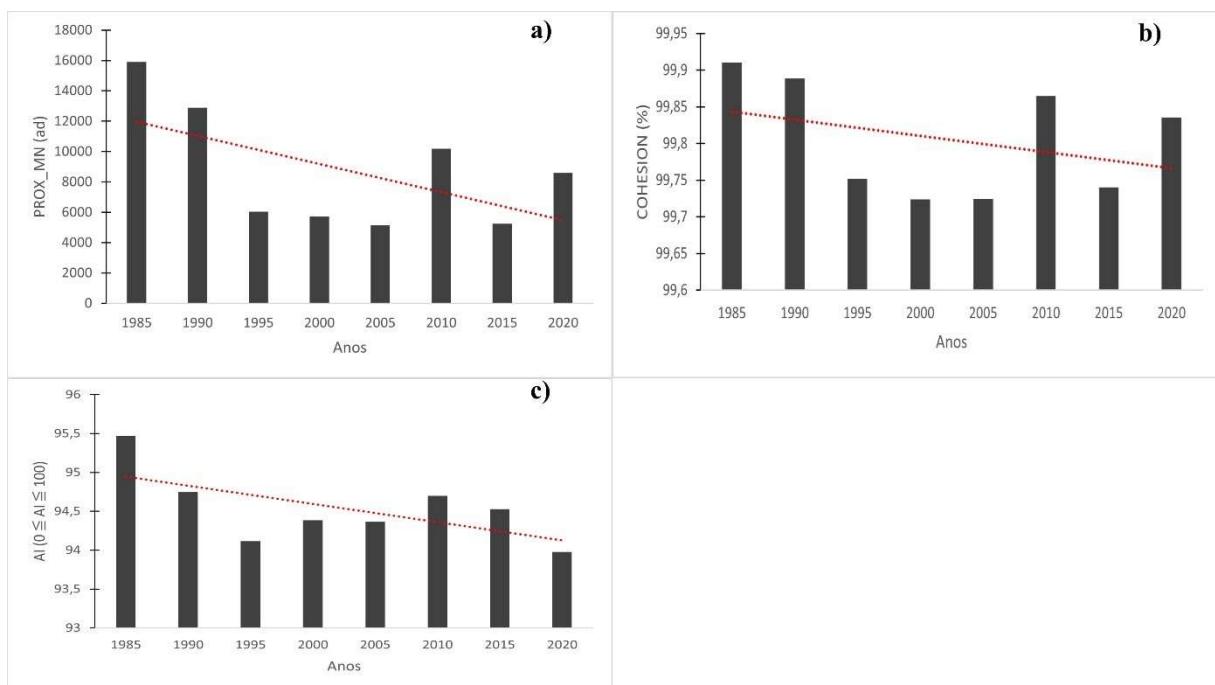


Figura 4. Índices PROX_MN, COHESION e AI para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, para a Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

5.3 Avaliação do Estoque de Carbono

As classes que mais apresentaram perdas de estoque de carbono entre 1985 a 2020 foram Formação Savânea (15,93%) e a Campestre (0,28%), entre as áreas naturais (Tabela 4). Por

outro lado, as classes que apresentaram maior aumento foram a Agropecuária (8,65%), Formação Florestal (5,77%) e Silvicultura (2,31%). É possível notar a conversão de quantidade de carbono de áreas naturais em Agropecuária e a Silvicultura principalmente.

Tabela 4 - Estoque de Carbono (MgC), por tipo de uso da terra estimada para o período de 1985 a 2020, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

Uso da Terra	Estoque de Carbono Acima e Abaixo do Solo (MgC)			
	1985	1990	1995	2000
Floresta	157.814,24	143.750,10	143.575,71	159.662,52
Savana	299.289,82	27.9275,45	244.250,89	234.131,74
Área úmida	490,46	283,84	222,52	274,76
Campestre	6.090,43	4.633,57	4.366,60	3.855,63
Rupestre	32.121,09	32.114,87	32.239,53	32.152,27
Água	238,07	266,20	88,10	50,62
Agropecuária	68.367,65	92.987,33	11.2474,96	11.4907,09
Silvicultura	0,00	1.648,18	3.336,31	3.919,01
Uso antrópico	68.32,99	2.813,29	2.684,34	2.347,25
Total	571.244,75	557.772,83	543.238,96	551.300,89
Uso da Terra	2005	2010	2015	2020
Floresta	165.386,82	177.398,42	183.919,79	187.940,29
Savana	222.185,29	237.347,15	220.145,60	205.210,91
Área úmida	474,56	683,47	717,51	572,21
Campestre	5.018,58	4.771,42	4.856,18	4.418,10
Rupestre	32.186,52	32.149,13	32.180,31	32.152,27
Água	95,59	144,35	112,48	161,21
Agropecuária	117.776,28	10.5156,35	109.609,94	116.083,63
Silvicultura	2.637,10	4.644,87	11.154,34	13.005,63
Uso antrópico	2.583,57	2.772,78	2.952,55	3.320,08
Total	548.344,32	565.067,92	565.648,70	562.864,33

Não houve diferença significativa na proporção entre os anos, para o período observado a partir do teste de Cox-Stuart, sendo o valor-p para ambas as classes de área natural e área antrópica 0,125 (maior que o nível de significância 0,05). No entanto é importante ressaltar que houve conversão de estoque de carbono das áreas naturais em áreas antrópicas, de cerca de 10,36%, entre 1985 e 2020 (Figura 5).

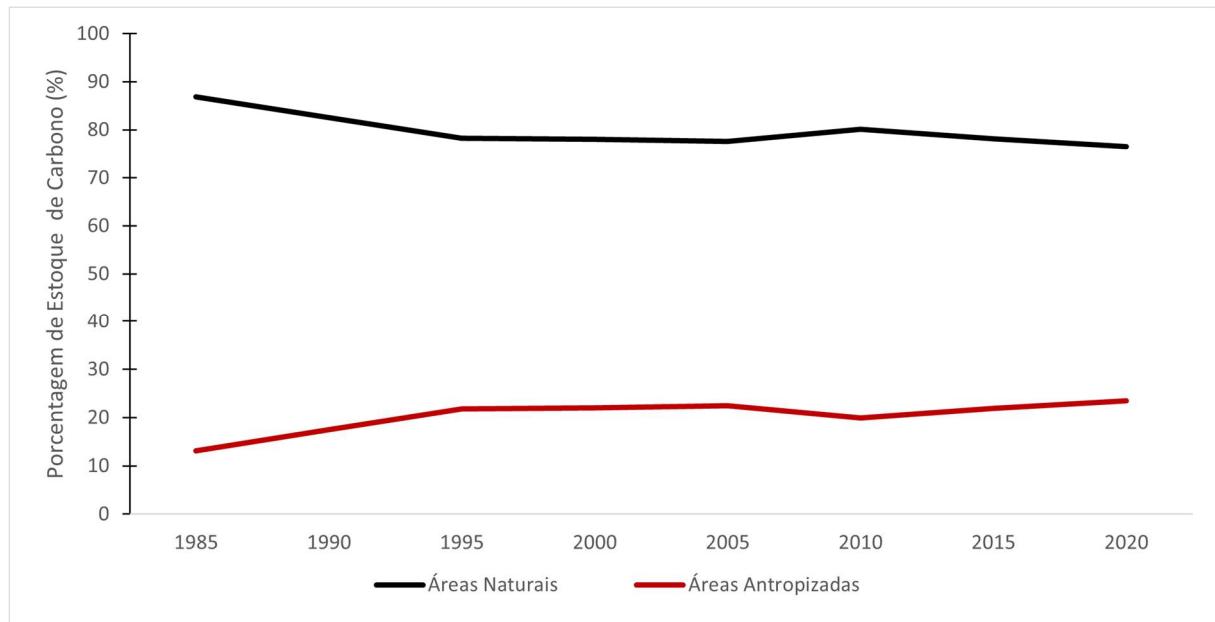


Figura 5. Porcentagem do Estoque de Carbono nas áreas naturais e áreas antropizadas nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus, estado de Goiás, Brasil.

Houve diferença entre a quantidade de carbono perdida ou acrescida entre 1985 a 2000 (antes da criação da APAP) e 2000 a 2020 (depois da criação da APAP). No primeiro intervalo de tempo a oscilação dos valores é mais acentuada que no segundo intervalo. Antes da criação da APAP, a perda de estoque de carbono em áreas naturais foi de 13,28% e o aumento de estoque de carbono nas áreas de uso antrópico foi de 61,13%. Depois da criação da APAP a variação foi relativamente estável, porém o estoque de carbono de áreas naturais teve aumento de 0,07% e o carbono de áreas antropizadas aumentou 9,27%, em relação a 2000 (antes da criação da APAP). A percentagem de carbono total perdido, ou seja, que foi liberada para atmosfera, em toda a APAP foi de cerca de 1,47% entre 1985 e 2020.

6 DISCUSSÃO

6.1 Dinâmica de uso e cobertura da terra

A criação da APAP cumpriu, ao menos parcialmente, o objetivo de frear e ordenar a ocupação antrópica na região, reduzindo a taxa de fragmentação causadas pelo avanço das atividades agrícolas e mantendo alta conectividade entre as áreas de vegetação natural. Antes da criação da APAP (até 2000) a área sofria com perdas acentuadas de áreas naturais, bem como aumento do avanço de áreas antrópicas em comparação com o período após a criação da UC (após 2000), no qual houve menor perda nas taxas de áreas naturais e aumento mais comedido das áreas antropizadas. É importante ressaltar que a formação que mais sofreu com a perda de área foi a Savânea, ao passo que a Florestal teve aumento. Essa diferença nos níveis de alteração entre as formações pode ser explicada quanto à extensão da regulação que se usa para a proteção dessas áreas. No entanto, cabe ressaltar que o aumento de área de florestal pode ter apresentado aumento devido a problemas na classificação, superestimando as áreas florestais. Essa superestimação pode ter como uma das causas as diferentes épocas do ano nas quais as imagens foram obtidas, pois isso influencia no nível de umidade da vegetação e, consequentemente, no nível de energia eletromagnética que essa emite e é capturada pelos satélites.

Áreas de Formação Florestal que envolvem nascentes e corpos d'água geralmente possuem regulações como o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), que confere a obrigatoriedade da sua proteção, contudo, normas que regulam e protegem, especialmente outras áreas nativas do Cerrado, são mais escassas (BATISTA, 2021; DE GODOI et al., 2022; GOMES, 2020; IBAMA, 2020). Todavia, a fragmentação é um problema que possui múltiplas facetas, além da ocupação antrópica e da perda da vegetação natural, ocorrem fatores de distúrbios naturais (p.ex. incêndios florestais, incidências de ventos fortes e invasão biológica) que podem influenciar na conservação da biodiversidade (AQUINO; MIRANDA, 2008).

6.2 Fragmentação das áreas naturais

A predominância de fragmentos de tamanho médio, durante todo o período avaliado demonstra nível de fragmentação entre 1985 a 2020 foi moderado. A maior parte dos fragmentos tiveram área entre 5 e 50 hectares, sem apresentar mudanças expressivas no número de fragmentos. Além disso, as demais classes (fragmentos pequenos e grandes) também mantiveram o número de fragmentos praticamente estável. É importante ressaltar que

fragmentos grandes e médios são menos sujeitos aos efeitos de borda, em comparação com os fragmentos pequenos (FERNANDES; FERNANDES, 2017; LAURANCE; VASCONCELOS, 2009; PIROVANI et al., 2014). Sendo assim, não houve avanços expressivos no tipo e na taxa de ocupação antrópica na área, ou seja, não houve avanço significativo de grandes ocupações antrópicas, como observado antes da criação da APAP. Contudo, vale ressaltar que o avanço lento das áreas antropizadas pode ser explicado pelo relevo acidentado e rochoso na região (CPRM, 2003), o que dificulta a instalação de atividades do agronegócio. Isso pode ter mascarado as alterações e perturbação ocasionadas na vegetação nativa, principalmente as Formação Savânicas que sofreram a maior redução na sua área original. Além disso, o período estudado pode ter sido insuficiente para a avaliação de qualquer alteração significativa na vegetação natural da área, por isso, é recomendado o monitoramento constante do uso e ocupação da terra, bem como dos recursos naturais (p.ex. qualidade da água e do solo) e biodiversidade regional.

No caso deste estudo, por mais que os fragmentos de tamanho médio tenham registrado a maior área total (ou seja, soma das áreas) é importante que esses fragmentos estejam em constante observação ao se adotar estratégias de conservação e manejo (como a criação de RPPNs, adoção de práticas conservacionistas do solo, delimitação de corredores ecológicos, fiscalização rigorosa de atividades mineradoras) (MCGARIGAL et al., 2002; PRIMACK; RODRIGUES, 2001). A depender de sua localização, podem servir de elementos de ligação, trampolins ecológicos (*stepping stones*) entre grandes áreas, gerando aumento no nível de heterogeneidade da matriz e atuando como refúgio para espécies que necessitam ambientes específicos que só ocorrem nessas áreas (PIROVANI et al., 2014).

Os valores medianos para o tamanho dos fragmentos (índice AREA_MN), porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem (PLAND) e porcentagem da paisagem que é ocupada pela maior mancha (LPI) demonstram que o período de maior intensidade de fragmentação das áreas naturais foi antes da criação da APAP (1985 a 2000). Após a criação da UC, apresentam valores reduzidos na quantidade de fragmentos, no tamanho de classe de áreas naturais e, no caso do índice LPI, uma leve melhora no espaço ocupado pela área natural na paisagem. Em todo o período os índices PLAND e LPI permaneceram, em média, entre 75 e 54%; o índice AREA_MN permaneceu entre 76 e 56 ha, exceto pelo primeiro ano de observação, no qual era 124 ha (tendo apresentado queda acentuada que pode ser explicada por ter acontecido antes da criação da APAP). Por mais que não se gere muitos alertas quanto aos seus índices, no período estudado, é recomendável que se atentem para as quedas mais

acentuadas nos próximos anos, caso existentes, pois podem representar perda de habitat de espécies animais e vegetais na área, além de perda de cobertura vegetal do solo (que podem gerar erosão, assoreamento e eutrofização de corpos d'água) e da perda de estoque de carbono e biodiversidade (AQUINO; MIRANDA, 2008; CAMPOS; LIMA; COSTA, 2023; FAHRIG, 1997). É importante que, assim como para o número de fragmentos, o relevo acidentado da área pode ter diminuído o avanço de implantação de culturas agrícolas e pasto. Também é importante monitorar o nível da atividade de mineração na área devido à exploração de areia, água, ouro e quartzito que ocorre na região (ANM, 2021).

O valor mediano da circularidade média dos fragmentos (CIRCLE_MN) indica que a forma dos fragmentos sofreu pouca alteração. A circularidade dos fragmentos é um dos fatores que minimizam o efeito de borda, visto que, em áreas mais circulares, o seu centro se encontra mais distante e menos sujeito a perturbação, do que em qualquer outra forma (PRIMACK e RODRIGUES, 2001). No presente estudo o índice permaneceu entre 0,54 e 0,60, o que gera pouca preocupação, mas que necessita de constante monitoramento. Afinal o efeito de borda é um dos fatores mais importantes a se observar na conservação de uma área (MCGARIGAL et al., 2002; PRIMACK; RODRIGUES, 2001). As novas áreas de atividades agrossilvipastoris, dentro e fora da APAP, devem ser planejadas de tal forma que garantam o menor efeito de borda possível nos fragmentos remanescentes.

O aumento no número de áreas centrais disjuntas (NDCA) e a baixa porcentagem da área central de fragmentos (CAI_MN) corroboram para o fato das áreas naturais possuírem cada vez menos área central e maior susceptibilidade ao efeito de borda, podendo gerar insegurança à manutenção da biodiversidade nos fragmentos. Essa situação é preocupante, pois a APAP é uma UC de Uso Sustentável e o poder público tem pouca gerência nessas áreas. Afinal, as APAs despendem baixos custos sociais, políticos e econômicos, pois não há desapropriação e as restrições ao uso da terra são muito poucas (FRANCOSO et al., 2015). Em uma área, na qual a atividade agropecuária e silvicultural é predominante em termos de uso antrópico da terra, é necessário que os proprietários rurais cumpram e os administradores públicos monitorem a execução de normas e ações sustentáveis de cultivo e conservação do solo, dos recursos hídricos e da vegetação, visto a fragilidade crescente dos remanescentes de vegetação nativa na região da APAP.

Os altos índices de agregação (AI), conectividade (COHESION) e proximidade (PROX-MN) revelam que, por mais que os fragmentos tenham apresentado boa proximidade e conexão, ainda há tendência de diminuição no número de fragmentos de áreas naturais de acordo com tais

índices. Não é razoável esperar que uma Área de Proteção Permanente apresente o mesmo nível de efetividade na conservação e preservação que uma Área de Proteção Integral, uma vez que há diferenças nas atividades permitidas em cada uma delas (FRANÇOSO et al., 2015). No entanto, é necessário que o monitoramento na área garanta que os níveis de conectividade e de comprometimento de habitat que as espécies possam suportar não avancem para níveis críticos que possam levar a condições desfavoráveis para a manutenção da biodiversidade local (MCGARIGAL et al., 2002) muito menos que avancem para comprometer a conservação da fauna, flora e dos recursos naturais na área do Parque Estadual dos Pireneus, localizada na porção central da APAP. Estudos sugerem que para muitas espécies, cerca de 40% a 60% de integridade de habitats, em áreas com o mínimo de 100 hectares, é o mínimo necessário para garantir o equilíbrio e a sobrevivência suas populações (ANDRÉN, 1994; ANDRÉN et al., 1997; FAHRIG, 1998; ROMPRÉ et al., 2011). Portanto, é necessário que o monitoramento, as ações de fiscalização e a proteção da área seja integrada às demais áreas ao seu redor, a fim de garantir o fluxo e sobrevivência das espécies silvestres existentes e, especialmente, em risco de extinção na região.

6.3 Avaliação do estoque de Carbono

O estoque de carbono armazenado na biomassa vegetal na APAP diminuiu com o passar do tempo, o que indica que a conversão de áreas naturais em áreas antropizadas reduz a produção deste serviço ecossistêmico de captura do carbono atmosférico, como verificado em outros estudos (AZEVEDO et al., 2018; CAMPOS; LIMA; COSTA, 2023; CORRÊA, 2020; COSTA JUNIOR, 2010; GONGO et al., 2022; LOPES, 2023).

O fato de não haver diferença significativa de quantidade de estoque de carbono nos intervalos entre 1985 a 2020 (período total de observação deste estudo), 1985 a 2000 (antes da criação da APAP) e 2000 a 2020 (depois da criação da APAP), isso indica a capacidade que a APAP tem em frear, mas não impedir, o avanço da ocupação antrópica na área e mitigar a liberação de carbono para a atmosfera. É importante notar que, por mais que o estoque de carbono tenha sofrido queda acentuada no intervalo antes da criação da APAP, em comparação com o período após a criação da APAP, atualmente ainda há perda de Carbono para a atmosfera. Em um contexto no qual as mudanças climáticas avançam cada vez mais (IBAMA, 2020) é imperativo que o estoque de carbono seja sempre um dos fatores que alcance maior efetividade, não devendo ser negligenciado em ações de monitoramentos da paisagem. Os proprietários de terras e administradores públicos devem estar atentos para manter as melhores práticas

conservacionistas a fim de garantir a contribuição efetiva da APAP na fixação de carbono atmosférico, como um dos serviços ecossistêmicos gerados por esta UC.

A diferença de taxa de queda do estoque de carbono entre os períodos antes e depois da criação da UC pode ser explicada pelo avanço da Agropecuária e da Silvicultura a partir de 1990, que foi de encontro com as normas e restrições exigidas pela criação da Área de Proteção Ambiental dos Pirineus. Segundo BEZERRA; JUNIOR, (2004) o ano de 1990, foi um período caracterizado pelo início de grandes mudanças na política agrícola no Brasil, com menor envolvimento do Estado nos estoques agrícolas da região Centro-Oeste e com maior investimento do capital privado em tecnologias e infraestrutura, que, por sua vez, se refletiram no desenvolvimento agrícola, em especial no estado de Goiás, onde a APAP está localizada.

Por mais que muitas espécies de monoculturas (florestais ou agrícolas) apresentem grande potencialidade para o estoque de carbono (AZEVEDO et al., 2018; COSTA JUNIOR, 2010; ROSENDO; ROSA, 2012) e para proporcionar cobertura e proteção do solo, a conversão contínua de áreas naturais em monoculturas e pasto sem manejo adequado do solo, e sem a manutenção de corredores ecológicos de vegetação nativa (que são habitats nos quais as espécies silvestres vivem a maior parte de suas vidas e nos quais exercem suas funções ecológicas) pode levar a uma série de consequências ruins à biodiversidade, por exemplo, a extinção de espécies (SEOANE et al., 2010).

7 CONCLUSÃO

A dinâmica de uso e cobertura da terra, através das análises a 5 anos, entre 1985 e 2020, revela aumento das áreas antropizadas na Área de Proteção Ambiental dos Pirineus. A Formação Savânica foi a área natural que apresentou maior taxa de redução, ao passo que a Agropecuária e a Silvicultura foram as áreas antropizadas que tiveram as maiores taxas de crescimento. No entanto, é possível afirmar que a criação da Área de Proteção Ambiental dos Pirineus contribuiu para desacelerar a fragmentação das áreas naturais e controlar o avanço das áreas antropizadas. Ao comparar os intervalos pré-criação da APAP (1985 a 2000) e pós-criação (2000 a 2020) a redução na área natural, o número e extensão dos fragmentos e perda no estoque de carbono foram mais expressivas antes da criação da Unidade de Conservação. Após a criação da Área de Proteção dos Pirineus a taxa de fragmentação das áreas naturais diminuiu, comparado com o período pré-criação da APAP. Contudo, a fragmentação ainda continua acontecendo na região. A diminuição do tamanho e da quantidade de fragmentos, bem como a diminuição da proximidade e conexão não sofreram grandes alterações durante o período

observado. No entanto, revelou que os fragmentos de áreas naturais possuem cada vez menos área central, ou seja, maior susceptibilidade ao efeito de borda e maior fragilidade. Embora as estimativas de estoque de carbono indicam estabilidade, tanto nas áreas naturais como nas áreas antropizadas, após 1995, é importante ressaltar que a taxa de conversão de estoque de carbono em áreas naturais por áreas antropizadas foi maior antes da criação da APA, mas ainda continua a crescer. Essa tendência de aumento demonstra riscos à manutenção da biodiversidade na área, diminuição da qualidade de serviços ecossistêmicos (como aumento da taxa de erosão, assoreamento e eutrofização de corpos d'água).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cabe destacar que não é esperado que uma Área de Proteção Permanente, como a APA dos Pirineus, apresente o mesmo nível de efetividade na conservação e preservação dos recursos naturais e a biodiversidade local que uma Área de Proteção Integral. No entanto, é necessário que as atividades desenvolvidas na APA sejam coerentes com a conservação da biodiversidade e com a dinâmica do ecossistema. Sendo assim, é necessário que os proprietários das terras cultivadas e os administradores públicos exijam e monitorem a execução de normas e manejos sustentáveis de cultivo e conservação do solo, dos recursos hídricos e da vegetação nativa, visto a fragilidade crescente dos remanescentes da vegetação fragmentada do Cerrado.

É importante ressaltar que os níveis de conectividade e de comprometimento dos habitats não avancem para níveis críticos que possam levar às condições desfavoráveis para a manutenção da biodiversidade local, colocando em risco a sustentabilidade e manutenção da fauna e flora e a oferta de serviços ecossistêmicos. Bem como, evitar que esses efeitos nocivos à biodiversidade comprometa a área núcleo da APAP, que é o Parque Estadual dos Pireneus. Afinal, o comprometimento de espaços naturais coloca em risco a preservação das espécies nativa e a manutenção de recursos naturais e serviços ecossistêmicos importantes para os seres humanos.

Por fim, é recomendável que como complemento desse estudo sejam realizados inventários biológicos recorrentes, com o objetivo de monitorar as espécies de fauna e flora, bem como identificar as melhores práticas de manejo que garantam a conservação efetiva da área e de sua biota. Além disso, estudos sobre a erosão e aporte de sedimentos são recomendados com objetivo de identificar, evitar e ou atenuar a perda de solos que ocorre devido ao mal manejo em áreas agrícolas ou provenientes de demais atividades antrópicas na região. O manejo inadequado do solo pode assorear e comprometer os mananciais hídrico, colocando em risco a

produção de água (qualidade e quantidade), outro importante serviço ecossistêmico da APAP. Estudos sobre o estabelecimento de corredores ecológicos também devem ser incentivados. Consideração não apenas as Formação Florestal que recobrem as margens de corpos d'água, mas também diferentes fitofisionomias, principalmente as Formações Savânicas e Campestres, para que garanta uma conservação mais integrada das espécies que habitam e transitam entre os ecossistemas naturais do Cerrado.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. DE F.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. - Portal Embrapa. 2003.
- ALBUQUERQUE, E. L. S. et al. Sig-Web Ceará em Mapas Interativos, Novas Ferramentas na Cartografia Escolar. *Mercator*, v. 11, n. 24, p. 253–269, 19 abr. 2012.
- ALBUQUERQUE, E. M.; LIMA, E. R. V.; SOUSA, M. F. B. Methodological proposal for evaluation of susceptibility to environmental degradation. *Sociedade & Natureza*, v. 35, n. 1, 10 mar. 2023.
- ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *NCASI Technical Bulletin*, n. 781 I, p. 12–13, 1994.
- ANDRÉN, H. et al. Population Response to Landscape Changes Depends on Specialization to Different Landscape Elements. *Oikos*, v. 80, n. 1, p. 193, out. 1997.
- ANEEL. SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL - Conjunto de dados - Dados Abertos - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: 7 dez. 2024.
- ANM. Agência Nacional de Mineração. Processos Minerário no Brasil. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- AQUINO, F. DE G.; MIRANDA, G. H. B. DE. Consequências Ambientais da Fragmentação de Habitats no Cerrado. Em: SANO, S. M.; ALMEIDA, SEMÍRAMIS P. DE; RIBEIRO, JOSÉ F. (Eds.). Cerrado: Ecologia e flora. v. 1 ed. 2. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008., 2008. p. 152–212.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. p. 21–24, 2002.
- ARONOFF, S. Geographic information systems: A management perspective. *Geocarto International*, v. 4, n. 4, p. 58, 1989.

- AZEVEDO, A. D. et al. Estoque De Carbono Em Áreas De Restauração Florestal Da Mata Atlântica. Floresta, v. 48, n. 2, p. 183–194, 17 abr. 2018.
- BATISTA, D. De olho no berço das águas. p. 41–42, ago. 2016.
- BATISTA, R. DE C. O cerrado e sua não denominação como patrimônio nacional na Constituição Federal Brasileira de 1988: a relação entre o desmatamento e a proteção legislativa do ordenamento jurídico brasileiro. 4 jan. 2021.
- BEZERRA, L. M. C.; JUNIOR, J. C. O Desenvolvimento Agrícola da Região Centro-Oeste e as Transformações no Espaço Agrário do Estado de Goiás. Caminhos de Geografia, v. 5, n. 12, p. 29–49, 12 jun. 2004.
- BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções, v. 1, p. 39–58, 2020.
- BOSQUETTI, L. DE B. Análise da estrutura da paisagem e fitofisionomias do Parque Estadual dos Pirineus, Góias, Brasil., 2008. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001705526>>. Acesso em: 2 dez. 2024
- BRASIL. L9985. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- BRASIL. L12651 compilado. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 27 jan. 2025
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a diversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003. 510 p.
- CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. 2001.
- CAMPOS, J. O.; LIMA, E. R. V. DE; COSTA, D. F. DA S. Mapeamento do Serviço Ecossistêmico de Sequestro de Carbono Prestado pela Cobertura Florestal do Parque Estadual Mata. Revista UFRR, v. 17, n. 2, 2023.

- CARVALHO, T. M. DE; FERREIRA, M. E.; BAYER, M. Análise Integrada do Uso da Terra e Geomorfologia do Bioma Cerrado: Um Estudo de Caso para Goiás. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 1, n. 1, p. 62–72, 4 nov. 2008.
- CASTRO, J. D. B. et al. Unidades de Conservação, atributos ecológicos e suas implicações: o caso do Parque Estadual dos Pireneus e da APA dos Pireneus-GO - 2019.
- CERETTA, C. A.; AITA, C. Manejo e conservação do solo. SANTA MARIA: Brasil, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/16180>>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- CHENG, C. MAN; WANG, R. SONG; JIANG, J. SHENG. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 19, n. 3, p. 348–352, 1 mar. 2007.
- CORRÊA, B. B. R. Oferta de serviço ecossistêmico relacionado ao carbono em paisagens com fisionomias florestais e campestres em Cerrado. 2020.
- COSTA JUNIOR, C. Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO). 7 maio 2010.
- COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. 2004.
- COX, D. R.; STUART, A. Some quick sign test for trend in location and dispersion. *Biometrika*, 42, 80-95. 1955
- CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno. 2003.
- CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Online. - Google Search. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- CUBAS, M. G.; TAVEIRA, B. D. DE. A. Geoprocessamento fundamentos e técnicas. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- CULLEN, JR. L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 2. ed. UFPR, 2006.

- CUNHA, G. DE M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da mata atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1175–1185, 2009.
- DAMBROWSKI, V.; MARENZI, R. C. Análise da ecologia da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Itajaí, SC, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 43, p. e202870–e202870, 1 dez. 2023.
- DE GODOI, E. L. et al. Effects of the Forest Law in areas with different vegetation types Chapada dos Veadeiros-Goiás. *Ciencia Florestal*, v. 32, n. 4, p. 2325, 1 out. 2022.
- DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. A Influência das Atividades Antrópicas na Paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG - Brasil. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 6, n. 2, p. 85–105, 10 set. 2017.
- EMBRAPA. Landsat - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satellites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- FAHRIG, L. Relative Effects of Habitat Loss and Fragmentation on Population Extinction. *The Journal of Wildlife Management*, v. 61, n. 3, p. 603, jul. 1997.
- FAHRIG, L. When does fragmentation of breeding habitat affect population survival? *Ecological Modelling*, v. 105, n. 2–3, p. 273–292, 1 jan. 1998.
- FALLOON, P. et al. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 122, n. 1, p. 114–124, 1 set. 2007.
- FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. DE M. Análise Espacial da Fragmentação Florestal da Bacia do Rio Ubá - RJ. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 4, p. 1429–1439, 2017.
- FONSECA, V. I. P. S. Modelagem de um banco de dados para a implantação de um SIG para suporte ao plano de desenvolvimento institucional da UFSCar. 7 abr. 2004.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons Ltd., 1991.

FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 1, p. 35–40, 1 jan. 2015.

FUNDAJ. Cerrado perde uma cidade de São Paulo a cada três meses — FUNDAJ. Disponível em: <<https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/cerrado-perde-uma-cidade-de-sao-paulo-a-cada-tres-meses>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

GADÊLHA, J. E. F. DA S.; GADÊLHA, S. C. F. D. S.; RODRIGUES, J. M. Importância do Monitoramento e Manutenção das Unidades de Conservação. 6 set. 2023.

GALETTI, G. Diagnóstico da estrutura da paisagem da estação ecológica de Avaré e seu entorno, como subsídio à sua conservação. 23 ago. 2013.

GIONGO, V. et al. Estratégias para sequestro de carbono. core.ac.uk, 2022.

GOIÁS. Decreto Nº 5.174, De 17 de Fevereiro De 2000 - Google Search. Disponível em: <[https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/61745/pdf#:~:text=DEC%20RETO%20N%C2%BA%205.174%2C%20DE%2017,Pireneus%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A3ncias](https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/61745/pdf#:~:text=DEC%20RETO%20N%C2%BA%205.174%2C%20DE%2017,Pireneus%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A3ncias.)>. Acesso em: 2 dez. 2024.

GOMES, J. D. M. C. O Antagonismo entre a Aplicação das Normas Ambientais e a Proteção Ambiental no Córrego Água Fria em Anápolis-GO. 3 abr. 2020.

GOMES, J. V. P.; CUBAS, M. G. Fundamentos do sensoriamento remoto. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2021.

GOOGLE. Google Earth Engine. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

GUSTAFSON, E. J.; PARKER, G. R. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology*, v. 7, n. 2, p. 101–110, jun. 1992.

HAINES-YOUNG, R. Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, v. 26, n. SUPPL. 1, p. S178–S186, 1 dez. 2009.

HEYMANN, Y. et al. Corine land cover technical guide. 1994. p. 136.

HOFMANN, G. S. et al. The brazilian cerrado is becoming hotter and drier. *Global Change Biology*, v. 27, n. 17, p. 4060–4073, 2021.

HOFMANN, G. S. et al. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the brazilian cerrado. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, v. 13, n. 1, p. 11236, 2023.

IBAMA. Relatório de qualidade do meio ambiente: RQMA Brasil 2020. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/rqmabrasil2020.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

IBGE. MAPA de clima do Brasil. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. (IBGE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 171, 2013.

IBGE, C. DE M. A. Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2018/2020 / IBGE, Coordenação de Meio Ambiente. p. 1–39, 2022.

ICMBIO. Cerrado — Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

INPE. A área de vegetação nativa suprimida no Bioma Cerrado no ano de 2023 foi de 10.688,73 km - São José dos Campos: 2023. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/a-area-de-vegetacao-nativa-suprimida-no-bioma-cerrado-no-ano-de-2022-foi-de-10-688-73-km2/notatecnica_prodescerrado_2022_final_rev.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

INPE. TerraBrasilis. Disponível em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

INPE, I. DE P. E. NOTA TÉCNICA PRODES CERRADO 2021 — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/nota-tecnica-prodes-cerrado-2021>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

ISPN, I. S. P. E. N. Berço das Águas - ISP - Instituto Sociedade, População e Natureza. Disponível em: <<https://ispn.org.br/biomas/cerrado/berco-das-aguas/>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

JACINTHO, L. R. DE C. Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 20 mar. 2003.

JØRGENSEN, S. ERIK.; FATH, B. D. Encyclopedia of ecology. Em: 2. ed. Elsevier, 2018. p. 448–453.

JÚNIOR, S. B. F.; ROMANATTO, E. Agropecuária Goiana: Uma Análise em Perspectiva Histórica. 2017. Disponível em: <www.imb.go.gov.br>. Acesso em: 29 jan. 2025.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, v. 220, n. 1–3, p. 242–258, 10 dez. 2005.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências Ecológicas Da Fragmentação Florestal na Amazônia. *Oecologia Australis*, v. 13, n. 3, p. 434–451, 21 dez. 2009.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. *Ciência e Cultura*, v. 63, n. 3, p. 27–29, jul. 2011.

LOCH, C. et al. Definição de Áreas para Formação de Corredores Ecológicos Através da Integração de Dados em um Sistema De Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n. 3, 24 maio 2013.

LOPES, M. F. Sequestro de Carbono Atmosférico na Agropecuária: Práticas e Impactos Ambientais. 2023.

MACEDO, M. A.; RIBEIRO, A. J. A.; DA SILVA, M. L. G. Diagnóstico da Fragilidade Física de Parque Natural Utilizando Ferramentas de Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 4, p. 2059–2070, 12 ago. 2021.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell & Environment*, v. 22, n. 6, p. 715–740, 1 jun. 1999.

MAPBIOMAS, P. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em:

<https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit>. Acesso em: 2 dez. 2024.

MASCARENHAS, L. M. DE A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 1, p. 5–18, abr. 2009.

MCGARIGAL, K. et al. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. Amherst: 2002.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: UnB-CNPq, 2012.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001.

MMA. Cerrado — Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

MMA. Revista SNUC. Brasília: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/revistasnuc_2022.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

MMA. O Bioma Cerrado. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

NASA. Landsat 1 | Landsat Science. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-1/>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

NASCIMENTO, J. L. DO. Uso da biomassa como alternativa energética. 2012.

NAVEH, Z. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. *Landscape and Urban Planning*, v. 50, n. 1–3, p. 7–26, 15 ago. 2000.

OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; BARBALHO, M. G. DA S. Manutenção da Biodiversidade e o Hotspot Cerrado. *Caminhos de Geografia*, v. 9, n. 26, p. 101–114, 4 jun. 2008.

- PEREIRA, J. L. G. et al. Métricas da Paisagem na Caracterização da Evolução da Ocupação da Amazônia. *GEOGRAFIA*, p. 59–90, 2001.
- PIROVANI, D. B. et al. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, p. 271–281, 2014.
- PIVELLO, V. R. et al. Chuva de sementes em fragmentos de Floresta Atlântica (São Paulo, SP, Brasil), sob diferentes situações de conectividade, estrutura florestal e proximidade da borda. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, n. 4, p. 845–859, out. 2006.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. *Biologia da Conservação*. Londrina: 2001.
- PRODES. Monitoramento do Desmatamento no Cerrado Brasileiro por Satélite. Disponível em:
<https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatoriofinal_cerrado_2008_2009_72.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- REMPEL, C. A ecologia de paisagem e suas ferramentas podem aprimorar o zoneamento ambiental? o caso da região política do Vale do Taquari. 2009.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Em: SANO, S. M.; ALMEIDA, SEMÍRAMIS P. DE; RIBEIRO, JOSÉ F. (Eds.). *Cerrado: Ecologia e flora*. v. 1 ed. 2 Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008., 2008. p. 152–212.
- RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 3, p. 675–681, set. 2001.
- RODRIGUES, V. S.; UTSUMI, A. G. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo na APA rio Uberaba sob o enfoque da Ecologia de Paisagens. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 4, n. 1, p. 83–94, 7 maio 2019.
- ROMPRÉ, G. et al. Conserving biodiversity in managed forest landscapes: The use of critical thresholds for habitat. <https://doi.org/10.5558/tfc86589-5>, v. 86, n. 5, p. 589–596, 2011.
- ROQUETTE, J. G. Distribuição da Biomassa no Cerrado e a sua Importância na Armazenagem do Carbono. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 1 jul. 2018.

- ROSENDO, J. DOS S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. *Sociedade & Natureza*, v. 24, n. 2, p. 359–376, ago. 2012.
- ROSOLEN, V. et al. Impactos da substituição da vegetação original do Cerrado brasileiro em sistemas agrícolas: alteração do carbono orgânico do solo e $\delta^{13}\text{C}$. *Investigaciones geográficas*, p. 39–47, 2012.
- SANTOS, F. DE A. DOS. Indicadores biofísicos de degradação ambiental no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 2, p. 670–680, 27 out. 2016.
- SANTOS, R. F. DOS. Planejamento ambiental: teoria e prática - Google Search. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SEMAD. Área de Proteção Ambiental dos Pireneus (APA Pireneus) - SEMAD. Disponível em: <<https://goias.gov.br/meioambiente/home/suc/parques-e-unidades-de-conservacao/apapireneus/>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- SEOANE, C. E. S. et al. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 63, p. 207, 26 out. 2010.
- SILVA, T. DE A. Proposta metodológica para delimitação e classificação do ambiente de vereda utilizando imagens orbitais. 2 abr. 2007.
- SILVEIRA, P. et al. O Estado da Arte na Estimativa de Biomassa e Carbono em Formações Florestais. *Floresta*, v. 38, n. 1, 27 mar. 2008.
- SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. *Science*, v. 260, n. 5116, p. 1905–1910, 25 jun. 1993.
- SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 81, n. 2, p. 169–178, 10 jun. 2008.
- SOARES FILHO, B. S. Análise de Paisagem: Fragmentação e Mudanças. Belo Horizonte: 1998. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica_utils/download/files/publications/apostila.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

- SPAWN, S. A. et al. Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. *Scientific Data*, v. 7, n. 1, 1 dez. 2020.
- TROLL, C. Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology — A terminological study. *Geoforum*, v. 2, n. 4, p. 43–46, 1 jan. 1971.
- UNEP-WCMC, I. U. C. N. Protected Planet 2016 | UNEP - UN Environment Programme How protected areas contribute to achieving global targets for biodiversity. Switzerland: 2016. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/publication/protected-planet-2016>>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *Série técnica IPEF*, v. 12, p. 25–42, 1998.
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A.; MARTINEZ, J. L. A. Restauração e Manejo de Fragmentos Florestais. *Revista do Instituto Florestal*, v. 4, n. 2, p. 400–406, 31 jan. 1992.
- WADT, P. G. S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. Documentos, 90. Rio Branco, AC: Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003., 2003. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/498802>>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- WHITCOMB, R. F. et al. Effects of forest fragmentation on avifauna of the eastern deciduous forest. 1981. Acesso em: 3 dez. 2024
- ZONNEVELD, I. S. Scope and Concepts of Landscape Ecology as an Emerging Science. Em: ZONNEVELD, I. S.; FORMAN, R. T. T. (Eds.). *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. Springer New York, 1990. p. 3–20.