



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS TRINDADE, FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS, ALGAS E
PLANTAS

Luan Marcos Valentini Lazzarotto

**Avaliação do risco de colapso das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra
Geral**

Florianópolis
2023

Luan Marcos Valentini Lazzarotto

**Avaliação do risco de colapso das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra
Geral**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos, Algas e Plantas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos, Algas e Plantas.

Orientador(a): Prof. Elisandro Ricardo Drechsler dos Santos, Dr.

Florianópolis

2023

Lazzarotto, Luan Marcos Valentini

Avaliação do risco de colapso das florestas nebulares dos
aparados da serra geral / Luan Marcos Valentini Lazzarotto ;
orientador, Elisandro Ricardo Drechsler dos Santos, 2023.
85 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-
Graduação em Biologia de Fungos, Algas e Plantas, Florianópolis,
2023.

Inclui referências.

1. Biologia de Fungos, Algas e Plantas. 2. Lista Vermelha de
Ecossistemas. 3. Floresta nebulosa. 4. Ecossistema ameaçado. I.
Santos, Elisandro Ricardo Drechsler dos. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Biologia
de Fungos, Algas e Plantas. III. Título.

Luan Marcos Valentini Lazzarotto

Avaliação do risco de colapso das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 07 de novembro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Cátia Elisa Guerreiro Rodrigues Canteiro, Dr.(a)
Instituição Indianapolis Zoo (USA)

Prof.(a) Pedro Fiaschi, Dr.(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) João de Deus Medeiros, Dr.(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina (aposentado)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos, Algas e Plantas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Elisandro Ricardo Drechsler dos Santos, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

Neste momento de conquista e conclusão da minha dissertação, desejo expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado, apoiando-me e incentivando-me ao longo desta jornada desafiadora.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, Marinez Valentini, cujo amor incondicional, apoio constante e sabedoria foram pilares fundamentais na minha vida. Sua dedicação e incentivo foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus amigos, tanto aqueles que estiveram presentes desde o início da minha jornada acadêmica quanto aqueles que conheci ao longo do caminho, expresso minha gratidão. Suas palavras de encorajamento, momentos compartilhados e apoio emocional foram um suporte valioso que me ajudou a enfrentar os desafios da vida universitária e além.

Não posso deixar de mencionar meu orientador, Elisandro Ricardo Drechsler dos Santos, cuja orientação experiente, paciência e visão crítica foram fundamentais para a condução e desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por sua orientação, discussões produtivas e confiança em minha capacidade. Estendo minha gratidão ao Genivaldo Alves da Silva e ao Diogo Henrique Costa Rezende por suas constantes contribuições ao longo de todo o trabalho, a Natália Macedo Ivanauskas por sua avaliação crítica das etapas cruciais do projeto e do relatório e claro aos membros da banca examinadora que gentilmente aceitaram participar desta etapa fundamental, Cátia Elisa Guerreiro Rodrigues Canteiro, Pedro Fiaschi e João de Deus Medeiros.

Aos meus professores, cujo compartilhamento de conhecimentos ao longo da minha jornada acadêmica foi inestimável, deixo meus sinceros agradecimentos.

Uma menção especial é dedicada aos cientistas do MIND.Funga, cujas pesquisas inovadoras e trabalho inspirador foram uma constante fonte de motivação para minha própria pesquisa. Suas contribuições para o campo lançaram luz sobre todo o processo.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos Algas e Plantas (PPGFAP), em particular ao meu querido amigo Giovany Luiz Teston, expresso minha profunda gratidão. Nossa amizade, que remonta aos tempos de graduação com bolsas de Iniciação Científica e estágio, representou um suporte

constante e camaradagem. Juntos, enfrentamos desafios, celebramos conquistas e nos unimos nesta jornada de mestrado, fortalecendo ainda mais nossos laços

Agradeço também ao Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU) e ao Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior (FUMDES) pela concessão da bolsa de pesquisa. Seu suporte financeiro foi crucial para a realização deste estudo. Além de ser grato ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e ao *The Mohamed Bin Zayed Species Conservation Fund* (MBZ) nos quais proporcionaram recursos financeiros para os trabalhos de campo do grupo de pesquisa.

Minha gratidão se estende à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por proporcionar um ambiente acadêmico estimulante e recursos que foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Por último, mas certamente não menos importante, gostaria de agradecer a minha psicóloga, Monique Maria Detoni. Seu apoio e orientação foram fundamentais para o meu bem-estar emocional ao longo dessa jornada. Sua compreensão foi um componente vital para meu equilíbrio durante momentos de pressão e estresse.

A todos que mencionei e também àqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha jornada, meu mais sincero agradecimento. Esta conquista não teria sido possível sem o apoio coletivo e o carinho de todos vocês.

Muito obrigado!

RESUMO

As Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral compreendem um ecossistema presente no Planalto Sul brasileiro, abrangendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esse ambiente é notável por suas características climáticas únicas, que resultam em uma neblina regular, essencial ao equilíbrio do ciclo da água e ao funcionamento do ecossistema. Dando origem a uma vegetação singular e adaptada a tais condições, abrigando uma alta biodiversidade, incluindo espécies endêmicas e ameaçadas. Apesar de sua importância ecológica, o ecossistema enfrenta ameaças, e sua inclusão na Lista Vermelha de Ecossistemas expõe sua fragilidade frente à necessidade de sua conservação em decorrência das mudanças do clima e ações antrópicas. A avaliação do ecossistema se baseou nos critérios A, B, C e D da Lista Vermelha de Ecossistemas da IUCN, os quais permitem a análise dos riscos para a biodiversidade, considerando a perda de habitat e distribuição geográfica por meio de análises de sensoriamento remoto de imagens de satélite, deterioração dos fatores abióticos de precipitação anual e média anual da temperatura máxima e as ameaças bióticas da probabilidade de ocorrência do javali e densidade de gado. Ainda que tenha havido pouca diminuição de território, menos de 1% ao longo dos últimos 50 anos e mais de metade do ecossistema está sob proteção legal, classificando o ecossistema em Menos Preocupante no subcritério A2b, o ecossistema enfrenta riscos decorrentes da redução em 5,16% da precipitação anual, classificando em Quase Ameaçado, e do aumento de 1,33°C da média anual da temperatura máxima, tornando o ecossistema Vulnerável no subcritério C1. A restrição em sua distribuição geográfica de 7.501,78 km² de extensão de ocorrência também amplifica a ameaça, tornando-o Em Perigo no subcritério B1. Projeções preocupantes apontam um aumento da densidade de gado no ecossistema, variando de 0,49 a 0,95 ind./ha para os próximos 50 anos, classificando o ecossistema como Em Perigo no subcritério D2a. O ecossistema, no geral, é classificado no nível mais elevado de ameaça da avaliação, ou seja, o ecossistema está classificado Em Perigo. Para preservar esse ambiente, são necessárias ações decisivas que abordem estratégias de conservação adaptadas às ameaças climáticas. Isso envolve incentivar a regeneração natural da vegetação e reduzir a pressão sobre o habitat. Além disso, é crucial aumentar a conscientização pública, intensificar os esforços de monitoramento e pesquisa para obter um entendimento mais aprofundado das necessidades do ecossistema e direcionar as ações de forma eficaz.

Palavras-chave: Lista Vermelha de Ecossistemas; ecossistema ameaçado; avaliação ecossistêmica.

ABSTRACT

The Aparados da Serra Geral Cloud Forest constitute an ecosystem located in the Brazilian Southern Plateau, spanning the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. This environment is notable for its unique climatic characteristics, resulting in regular fog that is essential to the balance of the water cycle and the functioning of the ecosystem. This gives rise to distinctive vegetation adapted to such conditions, harboring high biodiversity, including endemic and threatened species. Despite its ecological significance, the ecosystem faces threats, and its inclusion in the Red List of Ecosystems highlights its vulnerability in the face of the need for conservation due to climate change and anthropogenic actions. The ecosystem assessment was based on criteria A, B, C, and D from the IUCN Red List of Ecosystems, which enable the analysis of risks to biodiversity. This includes consideration of habitat loss and geographical distribution through remote sensing analyses of satellite imagery, degradation of abiotic factors such as annual precipitation and mean annual maximum temperature, and biotic threats such as the probability of wild boar occurrence and cattle density. Although a minimal decrease in territory, less than 1% over the past 50 years, and over half of the ecosystem being under legal protection, categorizing the ecosystem as Least Concern under sub-criterion A2b, it faces risks arising from a 5.16% reduction in annual precipitation, classifying it as Near Threatened, and a 1.33°C increase in the mean annual maximum temperature, rendering the ecosystem Vulnerable under sub-criterion C1. The restriction in its geographic distribution of 7,501.78 km² of extent of occurrence also magnifies the threat, classifying it as Endangered under sub-criterion B1. Alarming projections indicate an increase in cattle density within the ecosystem, ranging from 0.49 to 0.95 individuals per hectare over the next 50 years, classifying the ecosystem as Endangered under sub-criterion D2a. The ecosystem, overall, is classified at the highest threat level in the assessment, meaning the ecosystem is categorized as Endangered. To preserve this environment, decisive actions are necessary that address conservation strategies tailored to climate-related threats. This involves promoting the natural regeneration of vegetation and reducing pressure on the habitat. Additionally, it is crucial to enhance public awareness, intensify monitoring and research efforts to gain a deeper understanding of the ecosystem's needs, and direct actions effectively.

Keywords: Red List of Ecosystems; Endangered ecosystem; ecosystem assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Presença de nuvens na altura do solo (a) e interior do ecossistema com vegetação nativa (b).....	17
Figura 2. Mecanismos de colapso do ecossistema e sintomas de risco de colapso.	20
Figura 3. Estrutura das categorias da Lista Vermelha de Ecossistemas.....	21
Figura 4. Mapa de localização dos fragmentos das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) em 2021. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.....	25
Figura 5. Hipsometria das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	26
Figura 6. Solos das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	27
Figura 7. Modelo conceitual de causa e efeito nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. As caixas vermelhas representam ameaças, as elipses azuis representam o meio ambiente e os processos abióticos, os hexágonos verdes representam componentes e processos bióticos. As caixas pontilhadas representam características bióticas e abióticas do ecossistema suscetíveis a ameaças. As setas pontiagudas indicam efeitos positivos e as setas arredondadas indicam efeitos negativos.....	37
Figura 8. Mudanças no território das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) entre 1985 até 2021. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.....	39
Figura 9. Projeções de declínio em área do ecossistema de Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Há um declínio de 1,52% na projeção linear enquanto na projeção polinomial o declínio é de 0,36% para o período de tempo 1985-2035.....	40
Figura 10. Extensão de ocorrência, polígono convexo mínimo das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	43
Figura 11. Área de ocupação, número de quadrículos de 10 x 10 km ocupados pelas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	44
Figura 12. Gráfico da precipitação anual nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.....	46

Figura 13. Temperaturas médias anuais nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.....	47
Figura 14. Média anual da temperatura mínima nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.....	48
Figura 15. Média anual da temperatura máxima nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.....	48
Figura 16. Evidências de ameaças às Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Gado se alimentando da regeneração no Parque Nacional de Aparados da Serra (a) e solo revirado por javalis no Parque Nacional de São Joaquim (b).	52
Figura 17. Probabilidade de ocorrência do javali nos municípios que abrangem as Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	54
Figura 18. Área da probabilidade de ocorrência do javali nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	55
Figura 19. Evidências da presença de gado nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Trilha criada pelo rebanho (a); pegadas de gado (b); fezes de gado (c) e rebanho bovino indo se abrigar da chuva dentro do ecossistema (d).	58
Figura 20. Tamanho do rebanho bovino total dos municípios com Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.....	59
Figura 21. Tamanho do rebanho bovino dos municípios com Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.	59
Figura 22. Projeção do aumento da densidade de gado nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.	61
Figura 23. Área de Preservação Permanente (APP) de nascentes e rios nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	65
Figura 24. Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). PARNA: Parque Nacional; PE: Parque Estadual; REBIO: Reserva Biológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da categoria de risco do subcritério A2b: redução da distribuição geográfica em qualquer período de 50 anos (incluindo passado, presente e futuro). VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.....	29
Tabela 2. Classificação da categoria de risco dos subcritérios B1 e B2: extensão de ocorrência e área de ocupação. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.	30
Tabela 3. Classificação da categoria de risco do subcritério C1: últimos 50 anos com base na mudança em uma variável abiótica. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.....	32
Tabela 4. Classificação da categoria de risco dos subcritérios D1, D2a e D3: últimos e próximos 50 anos e período histórico. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.....	33
Tabela 5. Redução da distribuição geográfica das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.....	38
Tabela 6. Estimativa da quantidade de cabeças de gado por municípios nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) e a densidade de indivíduo por hectare no início e final da avaliação.	60
Tabela 7. Áreas e porcentagens protegidas pelas Áreas de Preservação Permanente nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.	63
Tabela 8. Áreas e porcentagens do ecossistema protegidas pelas Unidade de Conservação (UC) nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. PARNA: Parque Nacional; PE: Parque Estadual; REBIO: Reserva Biológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural.	66
Tabela 9. Resumo da avaliação das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. DD: Dados Insuficientes; LC: Menos Preocupante; NT: Quase Ameaçado; VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOO: Área de Ocupação;
APA: Área de Proteção Ambiental;
APP: Área de Preservação Permanente;
CO: Colapsado;
CR: Perigo Crítico;
DD: Dados Insuficientes;
DGI: Divisão de Geração de Imagens;
EN: Em Perigo;
EOO: Extensão de Ocorrência;
FNASG: Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral;
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
ICMBio: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;
INPE: Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais;
IUCN: União Internacional para a Conservação da Natureza;
LC: Menos Preocupante;
LVE: Lista Vermelha de Ecossistemas;
NE: Não Avaliado;
NT: Quase Ameaçado;
PARNA: Parque Nacional;
PE: Parque Estadual;
PPM: Pesquisa da Pecuária Municipal;
REBIO: Reserva Biológica;
RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural;
SICAR: Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural;
UC: Unidade de Conservação;
USGS: Serviço Geológico dos Estados Unidos;
VU: Vulnerável.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. ECOSISTEMAS AMEAÇADOS E FLORESTAS NEBULARES	13
1.2. FLORESTAS NEBULARES DOS APARADOS DA SERRA GERAL (FNASG)	15
1.3. AMEAÇAS	18
1.4. LISTA VERMELHA DE ECOSISTEMAS	19
1.5. OBJETIVOS	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1. ÁREA DE ESTUDO	24
2.2. MODELO CONCEITUAL	28
2.3. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS IUCN PARA AVALIAÇÃO DE ECOSISTEMAS	28
2.3.1. Critério A: redução na distribuição geográfica	28
2.3.2. Critério B: distribuição geográfica restrita	29
2.3.3. Critério C: degradação ambiental	31
2.3.4. Critério D: perturbação de processos bióticos e interações	32
2.4. ÁREAS PROTEGIDAS	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1. MODELO CONCEITUAL	36
3.2. CRITÉRIO A	37
3.3. CRITÉRIO B	42
3.4. CRITÉRIO C	45
3.5. CRITÉRIO D	51
3.6. ÁREAS PROTEGIDAS	63
4. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A - Critérios da Lista Vermelha de Ecossistemas	80

1. INTRODUÇÃO

1.1. ECOSSISTEMAS AMEAÇADOS E FLORESTAS NEBULARES

Grandes áreas florestais são mais eficazes na conservação da biodiversidade (LAURENCE et al., 2011), no entanto, fatores como a exploração madeireira e a conversão de terras para fins agropecuários têm levado à fragmentação das paisagens, tornando os ecossistemas altamente fragmentados (UHLMANN et al., 2013; VIBRANS et al., 2011). Originalmente, a Mata Atlântica, que cobria uma área de 150 milhões de hectares, era uma das maiores florestas tropicais da América do Sul (RIBEIRO et al., 2009). No entanto, a exploração excessiva resultou na fragmentação do bioma e atualmente restam apenas 12,4% da área total da Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2023). A demanda por recursos aumentou consideravelmente nas últimas décadas, à medida que a população mundial cresceu e exigiu mais recursos naturais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). A alteração no uso da terra tem impacto nas funções dos ecossistemas terrestres, resultando na perda global da diversidade biológica (SALA et al., 2000). Assim, o cuidado com a preservação dos ecossistemas tem se tornado uma preocupação cada vez mais relevante globalmente, visto que as ações humanas estão exercendo uma pressão crescente sobre a biodiversidade e os recursos naturais.

Entre os ecossistemas ameaçados, as Florestas Nebulares se destacam como preciosos tesouros ecológicos, repletos de biodiversidade e de um valor inestimável para a preservação do equilíbrio ecológico do nosso planeta (SCATENA et al., 2010). As Florestas Nebulares são encontradas em regiões de alta altitude, nas encostas úmidas das montanhas, onde as condições climáticas favorecem a formação de nuvens ao nível do solo (DOUMENGE et al., 1995). As Florestas Nebulares são predominantemente encontradas em áreas tropicais e subtropicais em várias regiões do mundo. Aproximadamente 43% dessas florestas estão localizadas na Ásia e Oceania, 41% nas Américas e 16% na África (SCATENA et al., 2010). Na América Latina, as Florestas Nebulares foram mapeadas por Helmer et al. (2019), ocorrendo na região sul e sudeste do Brasil, na região costeira do Pacífico do Panamá e Costa Rica estendendo-se até o interior do México, em países do caribe e percorrendo a Cordilheira dos Andes. É importante ressaltar que a presença dessas florestas pode variar em diferentes altitudes, uma vez que sua distribuição depende dos limites

superiores e inferiores das nuvens, além de fatores globais, regionais e locais que afetam a formação das nuvens (SCATENA et al., 2010). Essa variação ocorre em uma faixa de altitude que vai de 500 a 3.500 metros, sendo mais frequente entre 1.200 e 2.500 metros (STADTMILLER, 1987).

As Florestas Nebulares têm uma função vital no controle do ciclo hidrológico e no funcionamento ecológico. A presença de nuvens mantém a umidade necessária para a sobrevivência da vasta variedade de espécies vegetais, animais e fungos adaptadas às condições específicas daquele ambiente. Além disso, as nuvens fornecem a precipitação necessária para o equilíbrio do ecossistema (RAMÍREZ et al., 2018; AULD; LEISHMAN, 2015). Muitas espécies endêmicas estão presentes nessas florestas (FALKENBERG, 2003), além de possuírem uma grande quantidade de epífitas, como bromélias e orquídeas, que crescem sobre as árvores e aproveitam a umidade do ar e das nuvens para sobreviverem (NADKARNI, 2010) e uma diversidade gigantesca de fungos, muitos deles raros, que tem aumentado constantemente à medida que mais espécies são descobertas com o aumento dos esforços de coleta e pesquisa, enriquecendo nosso conhecimento sobre a diversidade fúngica e seu papel nos ecossistemas (OLMO-RUIZ et al., 2017). As epífitas desempenham um papel crucial nos ciclos de luz, hidrologia e nutrientes, sendo fisiologicamente dependentes dos nutrientes e da água fornecidos pelas chuvas e nuvens (NADKARNI, 2010; FOSTER, 2001). Por outro lado, as briófitas têm um papel importante na retenção de água, atuando como reservatórios para o ecossistema e as formações florestais adjacentes (GRADSTEIN; CHURCHILL; SALAZAR-ALLEN, 2001).

No entanto, as Florestas Nebulares enfrentam uma série de ameaças que colocam em risco sua existência e a sobrevivência das espécies que dependem delas (PONCE-REYES et al., 2013). O aquecimento global tem levado à redução da cobertura de nuvens, ocasionando alterações nos padrões de precipitação e afetando negativamente o microclima desses ecossistemas frágeis (HELMER et al., 2019; RAY, 2013; SCATENA et al., 2010). O aumento da temperatura média global em 2°C ocasionará a elevação da base das nuvens em até 250 m, que conseqüentemente reduzirá a extensão florestal (LOS et al., 2019). Uma redução da imersão de nuvens nas Florestas Nebulares Neotropicais ocorrerá se as emissões de gases de efeito estufa continuarem a aumentar, o que poderá expor o ecossistema à invasão de árvores exóticas (HELMER et al., 2019). Além disso, o desmatamento para fins agropecuários e silviculturais, bem como a invasão de outras espécies exóticas,

representam ameaças adicionais a esse ecossistema (KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020; HASSEMER; FERREIRA; TREVISAN, 2015; CUEVAS et al., 2012).

1.2. FLORESTAS NEBULARES DOS APARADOS DA SERRA GERAL (FNASG)

Na região sul do Brasil, de maneira fragmentada, as Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) estão localizadas na região do Planalto Sul, abrangendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (FALKENBERG, 2003). Essas florestas ocorrem em altitudes acima de 1.000 metros (IBGE, 2012). No entanto, estudos realizados pelo Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina sugerem que a vegetação característica da Floresta Nebular está presente em altitudes acima de 1.200 metros (VIBRANS et al., 2013). Espécies como *Drimys angustifolia* Miers, *D. brasiliensis* Miers, *Clethra uleana* Sleumer, *Ilex microdonta* Reissek, *Weinmannia humilis* Engl. e *W. paulliniifolia* Pohl ex Ser. são indicadoras que distinguem as Florestas Nebulares das outras formações florestais adjacentes (VIBRANS et al., 2013; BERTONCELLO et al., 2011).

A FNASG é um ecossistema distinto, encontrado em região com características singulares. Essas florestas se diferenciam de outras formações florestais em altitudes mais baixas devido as características ambientais de temperaturas baixas, solos rasos, úmidos, pobres em nutrientes presentes nessas áreas e constante frequência de nuvens na altura do solo (Figura 1). Essas condições ambientais contribuem para a formação de uma vegetação densa, composta principalmente por árvores de porte pequeno, com ramos retorcidos, copas compactas e folhas resistentes (Figura 1). Os arbustos também são comuns nesse ecossistema, sem uma distinção clara entre os diferentes estratos da floresta. Um aspecto notável das FNASG é a grande abundância e diversidade de epífitas (FALKENBERG, 2003; FALKENBERG; VOLTOLINI, 1995).

As características da vegetação são resultantes de diversas adaptações das espécies presentes no ecossistema devido à saturação do solo e à respiração radicular impedida pela deficiência de oxigênio limitando o desenvolvimento das raízes, afetando seu acesso a nutrientes e água (BRUIJNZEEL et al., 2010). Baixa absorção de nutrientes devido a decomposição reduzida da serrapilheira, combinada com temperaturas foliares reduzidas e capacidade fotossintética reduzidas associadas a baixas entradas de radiação afetam a taxa de crescimento e

desenvolvimento das espécies nesse ambiente. A exposição das árvores a ventos fortes e altas intensidades de radiação UV-B exigem adaptações morfológicas e fisiológicas para minimizar a perda de água, proteger as estruturas foliares e garantir a eficiência da fotossíntese (BRUIJNZEEL et al., 2010). Esses filtros ambientais desempenham um papel crucial na modelagem das características das FNASG, influenciando diretamente a composição e a estrutura da vegetação, permitindo que elas possam enfrentar condições ambientais adversas e persistir neste ecossistema peculiar.

Os Aparados da Serra Geral abrigam uma biodiversidade elevada, com uma proporção significativa de espécies endêmicas, representando cerca de 10% da flora local (FALKENBERG, 2003). Essa região é considerada uma das áreas mais críticas para a conservação da biodiversidade em Santa Catarina (HASSEMER; FERREIRA; TREVISAN, 2015), abrigando plantas, animais e fungos ameaçados de extinção. Entre eles, destacam-se a onça-parda (*Puma concolor* Linnaeus, 1771) na categoria Vulnerável de acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (2018), assim como o fungo *Fomitiporia nubicola*, também considerado Vulnerável (DRECHSLER-SANTOS et al., 2020) e em processo de reavaliação para Perigo Crítico devido à diminuição da sua tendência populacional, e a *Crinodendron brasiliense* Reitz & L.B.Sm., uma planta classificada como Em Perigo (SÜHS, 2018).

Figura 1. Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Presença de nuvens na altura do solo (a) e interior do ecossistema com vegetação nativa (b).

a.



b.



Fonte: MIND.Funga.

1.3. AMEAÇAS

Apesar das Florestas Nebulares estarem localizadas em regiões montanhosas, muitas delas foram degradadas devido à expansão da pecuária e monocultura (FALKENBERG; VOLTOLINI, 1995). Essas atividades humanas, resultantes da ocupação juntamente com a introdução de espécies invasoras exóticas e as mudanças climáticas, representam uma ameaça para a sobrevivência das espécies nativas (AULD; LEISHMAN, 2015; PONCE-REYES et al., 2013). O avanço das monoculturas, especialmente de *Pinus* spp., sobre essas áreas coloca em risco muitas espécies endêmicas do local (HASSEMER; FERREIRA; TREVISAN, 2015). A introdução de gado em fragmentos florestais altera a composição e estrutura da regeneração natural nas Florestas Nebulares (KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020), enquanto a presença de javalis (*Sus scrofa* L., 1758) tem efeitos negativos na cobertura vegetal de plantas herbáceas e arbustivas, reduzindo a riqueza e diversidade da biota (CUEVAS et al., 2012). Esses impactos resultam em um alto grau de interferência humana nos remanescentes florestais.

A mudança climática torna as Florestas Nebulares mais suscetíveis a danos de várias maneiras. Isso ocorre devido ao aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, anomalias climáticas, elevação das bases das nuvens, desumidificação do ecossistema, além do aumento dos distúrbios naturais (HELMER et al., 2019; LOS et al., 2019; BOEHMER, 2011). Essas transformações têm consequências significativas, como mudanças na quantidade de espécies, perda de cobertura vegetal, diminuição do habitat de vida selvagem e deslocamento de espécies nativas por invasores. Esses impactos podem resultar na formação de novas comunidades de plantas e animais, perda de diversidade biológica, alterações no ciclo da água, redução da capacidade de retenção de água e interrupção ou perda permanente de serviços essenciais prestados pelos ecossistemas (BOEHMER, 2011).

As Florestas Nebulares em todo o mundo possuem distribuição pouco conhecida e enfrentam ameaças contínuas devido às mudanças do uso da terra e às mudanças climáticas (BRUIJNZEEL et al., 2010; SCATENA et al., 2010), chegando a períodos em que sua degradação ocorreu a taxas consideravelmente maiores do que outras florestas tropicais (DOUMENGE et al., 1995). As Unidades de Conservação (UC) ajudaram a desacelerar esse declínio, porém algumas regiões perderam mais

de 8% de Florestas Nebulares entre 2001 e 2018, principalmente em áreas acessíveis (KARGER et al., 2021). Nas FNASG, destacam-se as UCs de Proteção Integral, como o Parque Nacional (PARNA) da Serra Geral, PARNA de Aparados da Serra, PARNA de São Joaquim, Parque Estadual da Serra Furada e a Reserva Biológica do Aguai, além das UCs de Uso sustentável como as Áreas de Proteção Ambiental (APA) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN).

1.4. LISTA VERMELHA DE ECOSSISTEMAS

Compreender o estado atual de conservação, identificar os fragmentos florestais mais ameaçados e determinar os componentes do ecossistema mais vulneráveis são questões cruciais para estratégias de gestão que visam a preservação das Florestas Nebulares (SCATENA et al., 2010). Nesse sentido, a Lista Vermelha de Ecossistemas (LVE) oferece uma estrutura adaptável para avaliar o risco do ecossistema.

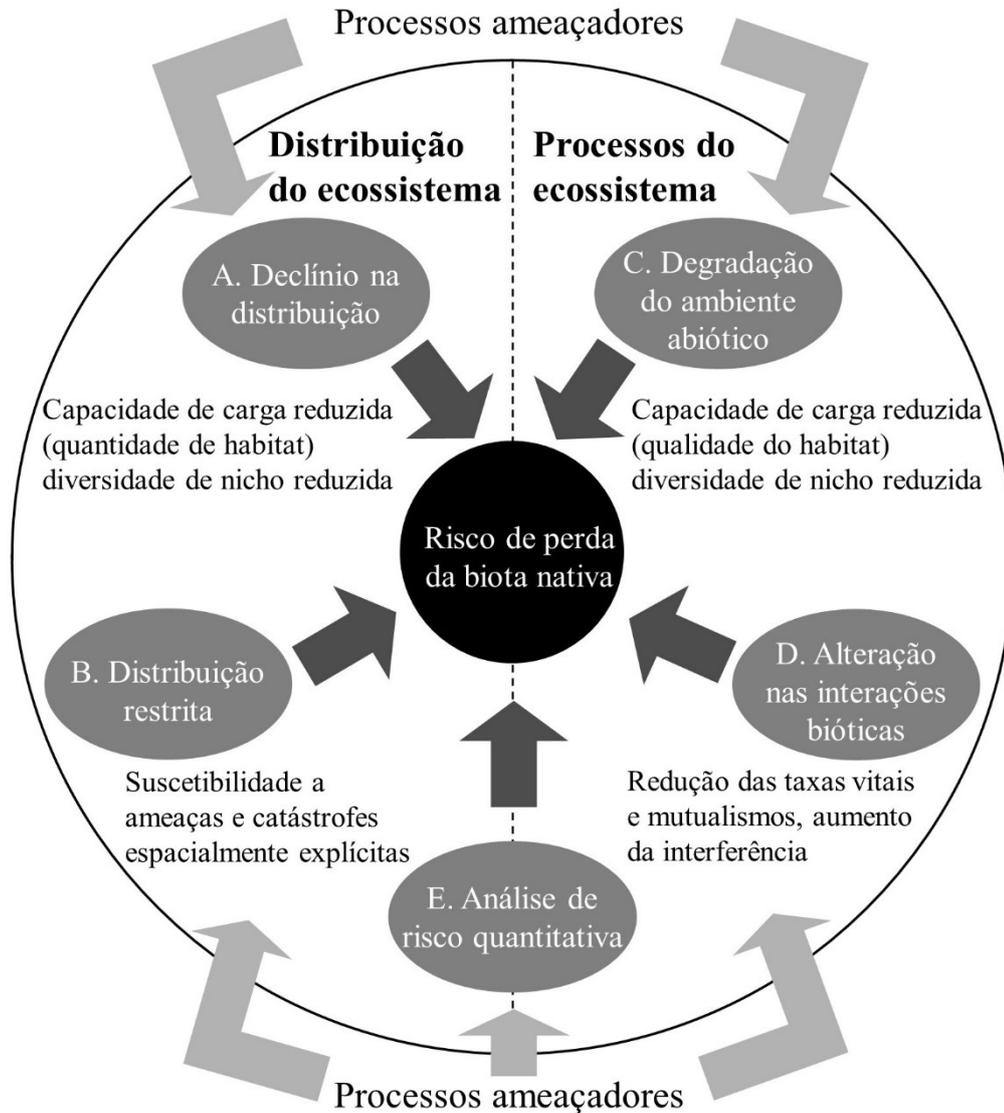
Desenvolvida pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), a LVE é uma ferramenta de grande importância para avaliar e monitorar o estado de conservação dos ecossistemas. Tem a função de identificar, monitorar e informar prioridades, fornecendo informações valiosas que podem auxiliar na tomada de decisões e na implementação de estratégias eficazes de conservação (BLAND et al., 2017; KEITH, 2015).

A LVE é desenvolvida com base em uma metodologia científica sólida e consistente, seguindo os mesmos princípios da Lista Vermelha de Espécies. Através dessa metodologia, a LVE oferece uma avaliação do estado de conservação dos ecossistemas, identificando aqueles que estão ameaçados (BLAND et al., 2017).

A abordagem da LVE utiliza uma metodologia que considera cinco critérios para avaliar os riscos enfrentados pelos ecossistemas devido a diferentes processos ameaçadores, que podem ser identificados através de sintomas de colapso. Os critérios podem desempenhar um papel informativo no cenário político, para a estipulação de metas e identificação de medidas que abordem diretamente os riscos do ecossistema (ALANIZ; GALLEGUILLOS; PEREZ-QUEZADA, 2019). Esses critérios abrangem o declínio na distribuição (Critério A), a distribuição restrita (Critério B), a degradação do ambiente abiótico (Critério C), a perturbação de processos e interações bióticas (Critério D) e a utilização de estimativas quantitativas para avaliar

o risco de colapso (Critério E) (Figura 2), uma descrição mais detalhada dos critérios está no APÊNDICE A - Critérios da Lista Vermelha de Ecossistemas (BLAND et al., 2017).

Figura 2. Mecanismos de colapso do ecossistema e sintomas de risco de colapso.

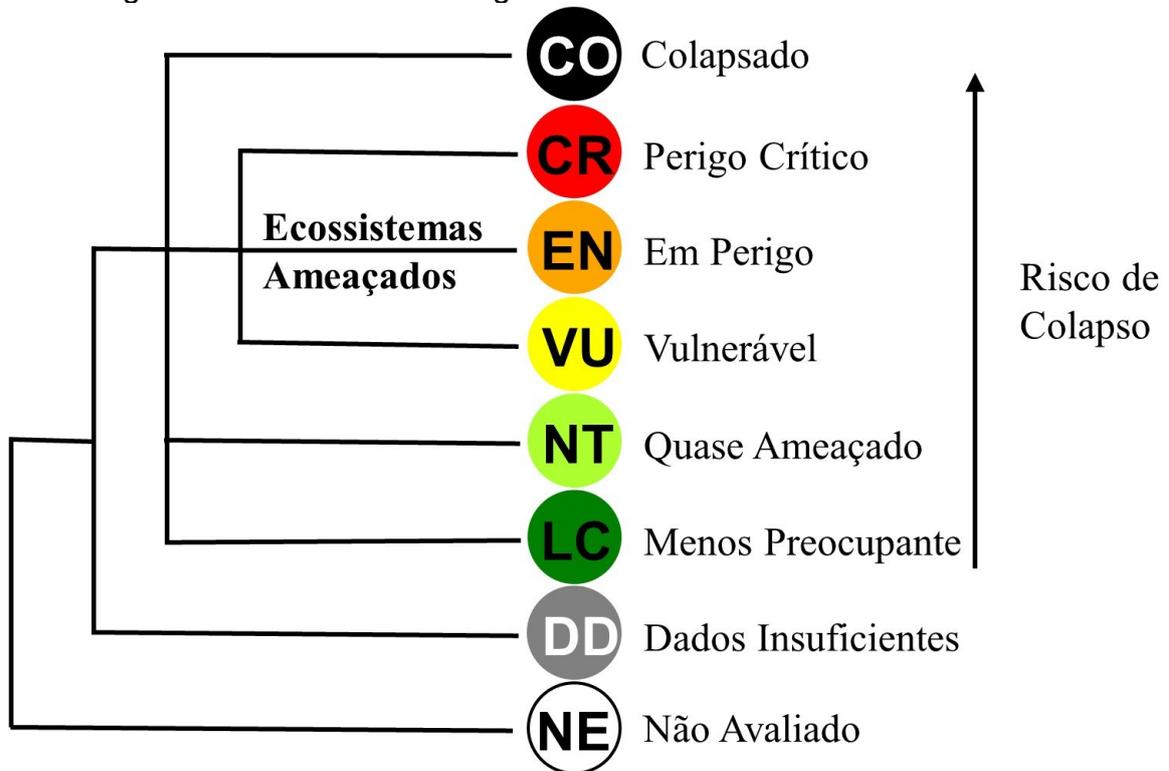


Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

O ecossistema avaliado utilizando as diretrizes da LVE recebe uma classificação em uma das oito categorias de risco: Colapsado (CO); Perigo Crítico (CR); Em Perigo (EN); Vulnerável (VU); Quase Ameaçado (NT); Menos Preocupante (LC); Dados Insuficientes (DD); Não Avaliado (NE) (Figura 3). As categorias Perigo Crítico, Em Perigo e Vulnerável indicam ecossistemas ameaçados. A LVE segue o

princípio da precaução no qual o estado geral do ecossistema avaliado é a categoria de maior risco obtida através dos critérios aplicados na análise (BLAND et al., 2017).

Figura 3. Estrutura das categorias da Lista Vermelha de Ecossistemas.



Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

Dentre as diversas Florestas Nebulares espalhadas pelo mundo, algumas foram analisadas utilizando a abordagem da LVE. A Floresta Nebular de Gnarled Mossy, situada na ilha de Lord Howe, Austrália, demonstrou estar em uma situação de Perigo Crítico, sendo classificada como tal devido à sua distribuição geográfica limitada (AULD; LEISHMAN, 2015). Da mesma forma, a Floresta Nebular de Tanintharyi também se encontra em Perigo Crítico, devido à sua distribuição geográfica restrita (MURRAY et al., 2020).

Na América do Sul, foram realizadas avaliações de outros ecossistemas, como o Arbusto de Tepui, na Venezuela, que foi classificado como Menos Preocupante (KEITH et al., 2013). Na Colômbia, a aplicação da Lista Vermelha de Ecossistemas identificou 20 ecossistemas em estado de Perigo Crítico e 17 ecossistemas Em Perigo (ETTER et al., 2015). A avaliação da região central do Chile identificou três ecossistemas em Perigo Crítico, Floresta de espinhos de *Acacia caven* e *Baccharis paniculata* do Mediterrâneo andino; Floresta esclerófila costeira mediterrânea de

Lithraea caustica e *Cryptocarya alba* e Floresta esclerófila psamofítica mediterrânea de interior de *Quillaja saponaria* e *Fabiana imbricata* (ALANIZ; GALLEGUILLOS; PEREZ-QUEZADA, 2016).

As florestas temperadas e tropicais das Américas estão enfrentando uma série de riscos à medida que as populações humanas aumentam e o uso da terra se intensifica. Aproximadamente 80% dos tipos de floresta e 85% da área florestal atual estão potencialmente ameaçados, 12 ecossistemas estão criticamente ameaçados devido ao desmatamento passado ou projetado para o futuro, entre os quais no Brasil podemos citar a Caatinga (FERRER-PARIS et al., 2019).

No Brasil, o Sistema de Dunas de Areia do sul da América do Sul, abrangendo Brasil, Uruguai e Argentina, também foi classificado como Menos Preocupante de acordo com os critérios da LVE. No entanto, na região de Santa Catarina e Uruguai, esse ecossistema é considerado Vulnerável e Em Perigo, respectivamente (SCHERER et al., 2020). No Pantanal, as avaliações indicaram que um ecossistema, o Contato Savana/Savana Estépica, está em Perigo Crítico, três estão Em Perigo, três foram classificados como Vulneráveis e seis estão na categoria de Menos Preocupante (NUNES; CUNHA, 2015). Enquanto na Mata Atlântica as florestas estacionais seca, úmida e úmida montanhosa estão classificadas Em Perigo (FERRER-PARIS et al., 2019).

Uma etapa importante da LVE é a constituição de um modelo conceitual do ecossistema. O modelo conceitual desempenha um papel fundamental na compreensão da dinâmica do ecossistema. Ele consiste em um diagrama que representa os principais processos e ameaças do ecossistema, podendo ser um modelo de causa e efeito ou modelo de estado e transição, fornecendo uma base para conduzir as avaliações. Além disso, o modelo conceitual serve para quatro propósitos: (i) refletir e esclarecer as suposições e compreensão dos processos ecossistêmicos; (ii) fornecer uma base para a condução da avaliação de risco, informando a seleção de variáveis relevantes para avaliar os critérios C e D; (iii) construir uma ferramenta de comunicação que resume as principais características do ecossistema para gestores de risco, profissionais de conservação, revisores pares e a comunidade em geral; e (iv) fundamentar o desenvolvimento de um modelo quantitativo para o critério E (BLAND et al., 2017).

A aplicação dos critérios da LVE nas FNASG é urgentemente necessária devido à escassez de conhecimento sobre o estado de conservação e às ameaças

contínuas enfrentadas pelo ecossistema. Com o propósito de avaliar a ameaça de colapso do ecossistema, a fim de implementar medidas de gestão apropriadas para proteger e restaurar o ambiente. Portanto, este projeto desempenha um papel essencial na identificação das principais ameaças que afetam as FNASG. Além disso, busca fornecer subsídios para a tomada de decisões e propostas eficazes que possam ser implementadas para reduzir essas ameaças.

1.5. OBJETIVOS

Este projeto tem como propósito investigar as seguintes questões: qual é o risco de colapso e quais são as principais ameaças que afetam as FNASG? O objetivo geral é avaliar o risco de colapso desse ecossistema. Para atingir esse objetivo, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos: estabelecer a variação temporal da distribuição geográfica das FNASG; confirmar a restrição geográfica dessas florestas; avaliar a degradação ambiental dos recursos abióticos presentes nas FNASG; aferir o grau de ameaça ao ecossistema decorrente da presença do rebanho bovino e da espécie exótica invasora *Sus scrofa*; mapear os locais legalmente protegidos; e indicar uma categoria da lista vermelha global da IUCN para classificar o ecossistema fornecendo suporte para a conservação, uso dos recursos e tomada de decisões de gestão.

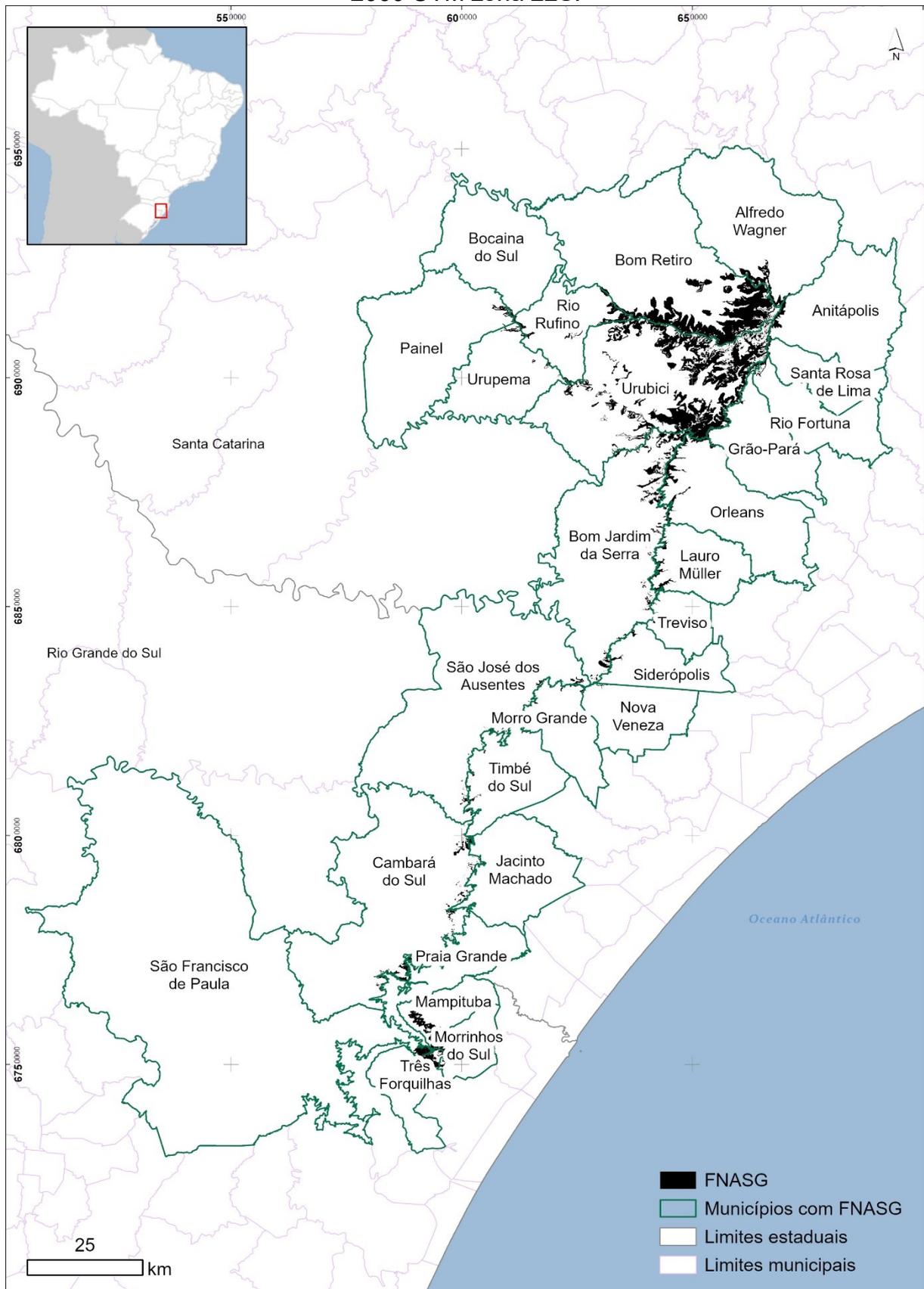
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

As FNASG estão presentes em uma área caracterizada por escarpas e penhascos quase verticais, abrangendo o leste do Planalto Sul brasileiro, localizado no sul de Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul. O ecossistema forma uma faixa longa e estreita, com uma orientação nordeste-sudoeste, que tem apenas alguns quilômetros de largura e engloba as maiores altitudes dos dois estados, ocorrendo em 27 municípios: Alfredo Wagner, Anitápolis, Bocaina do Sul, Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Grão-Pará, Jacinto Machado, Lauro Müller, Morro Grande, Nova Veneza, Orleans, Painel, Praia Grande, Rio Fortuna, Rio Rufino, Santa Rosa de Lima, Siderópolis, Timbé do Sul, Treviso, Urubici e Urupema no estado de Santa Catarina e Cambará do Sul, Mampituba, Morrinhos do Sul, São Francisco de Paula, São José dos Ausentes e Três Forquilhas no estado do Rio Grande do Sul. A extremidade norte está em Alfredo Wagner, no Morro Pedras Brancas, enquanto a extremidade sul está em Três Forquilhas, nas nascentes do rio Mampituba (Figura 4).

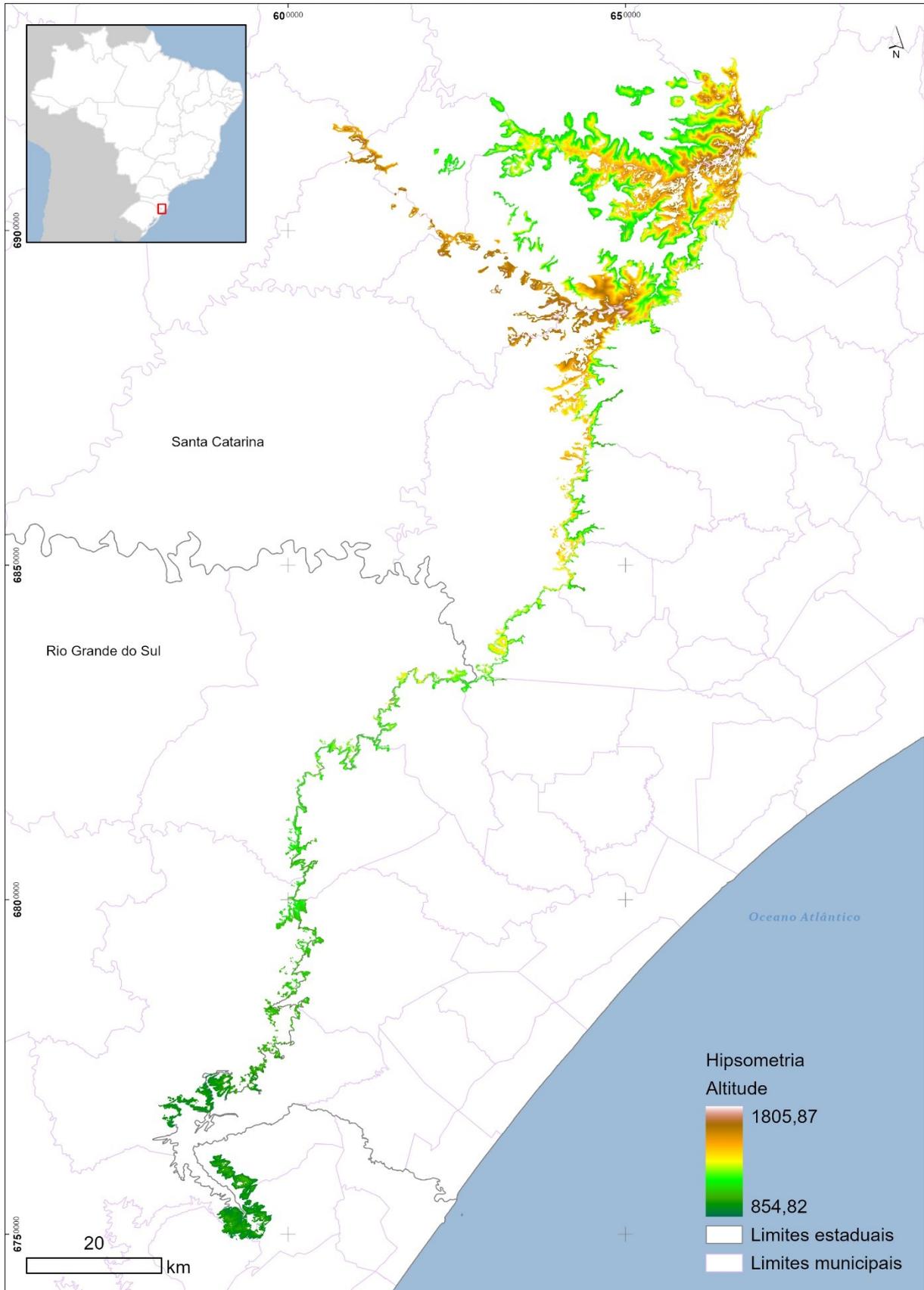
A região possui um clima úmido mesotérmico subtropical, sem uma estação seca definida, com verões moderados - Cfb (ALVARES et al., 2013), e está situada em uma composição paisagística que abrange a Floresta Ombrófila Mista, Campos de Altitude a oeste e sul do ambiente e Floresta Ombrófila Densa a leste e norte, localizada em uma faixa altitudinal que varia de 854 metros até 1805 metros (Figura 5). Nós observamos a presença de vegetação típica do ecossistema a altitudes inferiores a 1.200 metros, principalmente na porção meridional das FNASG. Essas florestas ocupam as encostas das colinas compostas de rochas diabásicas, misturadas com arenitos termometamorfizados resultantes do vulcanismo do período Cretáceo (IBGE, 2004) compondo solos do tipo argilossolo, cambissolo, neossolo e nitossolo (IBGE, 2001) (Figura 6).

Figura 4. Mapa de localização dos fragmentos das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) em 2021. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



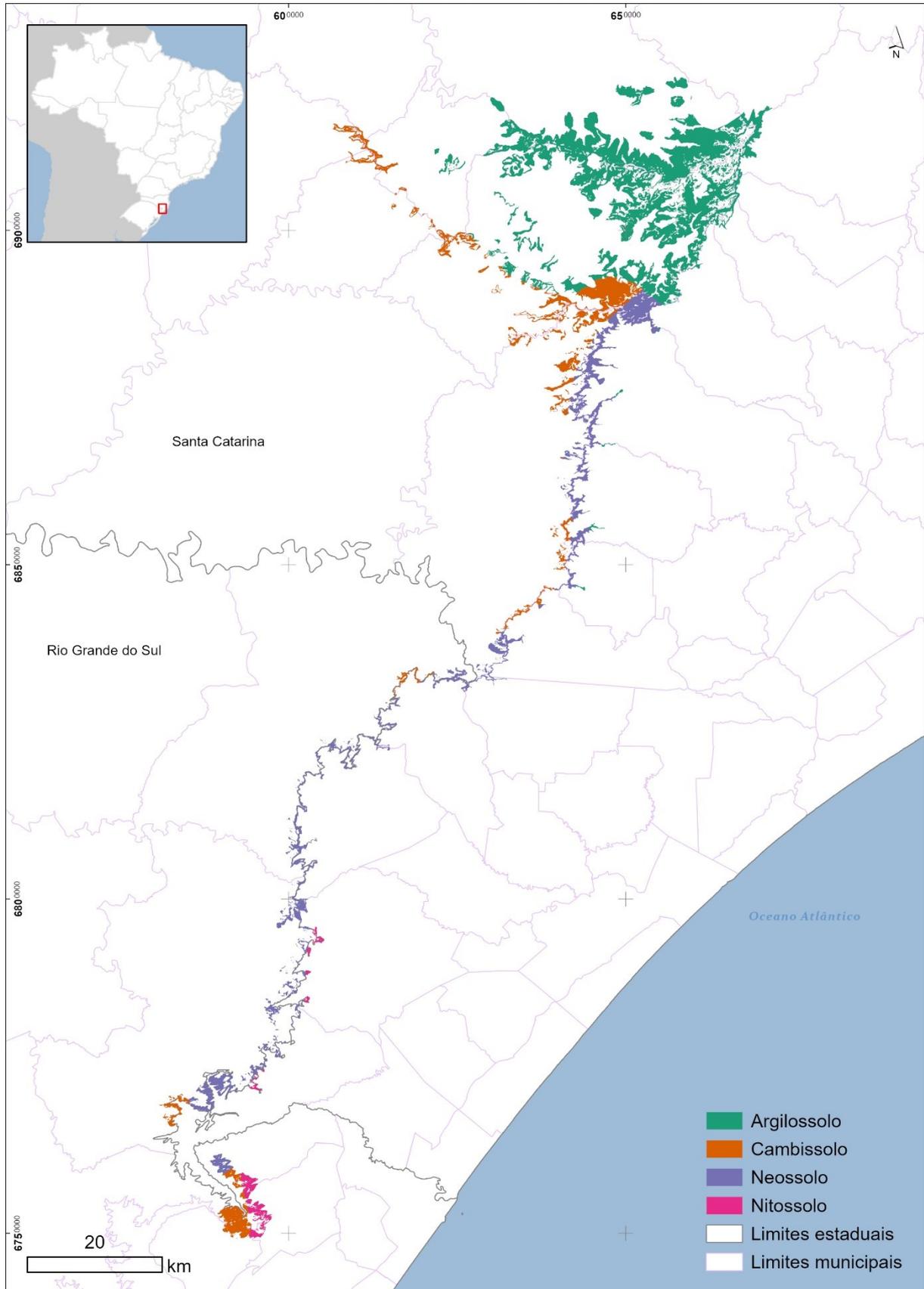
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5. Hipsometria das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.
Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor, dados Living Atlas ArcGis Pro.

Figura 6. Solos das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor, dados IBGE.

2.2. MODELO CONCEITUAL

Com base na análise das principais ameaças e processos identificados em estudos de campo e na literatura (KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020; LOS et al., 2019; AULD; LEISHMAN, 2015; PONCE-REYES et al., 2013; CUEVAS et al., 2012; BRUIJNZEEL et al., 2010; FALKENBERG, 2003; FALKENBERG; VOLTOLINI, 1995), geramos um modelo conceitual de causa e efeito para o ecossistema. Esse modelo representa as interações e dependências entre os componentes do ecossistema, como a biota característica, o ambiente abiótico e as ameaças identificadas (BLAND et al., 2017).

2.3. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS IUCN PARA AVALIAÇÃO DE ECOSSISTEMAS

A metodologia utilizada para as aplicações dos critérios e suas avaliações foi baseada na abordagem proposta pela Lista Vermelha de Ecossistemas da IUCN. Esses critérios permitem avaliar os riscos à biodiversidade, fornecendo suporte para a conservação, uso dos recursos e tomada de decisões de gestão. Eles permitem identificar os ecossistemas com maior probabilidade de perder biodiversidade e classificar o risco de colapso desses ecossistemas em diferentes categorias, incluindo “Não Avaliado”, “Dados Insuficientes”, “Menos Preocupante”, “Quase Ameaçado”, “Vulnerável”, “Em Perigo”, “Perigo Crítico” e “Colapsado” (BLAND et al., 2017; KEITH et al., 2013).

2.3.1. Critério A: redução na distribuição geográfica

O critério inicial examina a diminuição na distribuição geográfica e detecta as reduções na área devido a ameaças que causam a perda e fragmentação do ecossistema ao longo do tempo (BLAND et al., 2017).

Para avaliar a perda de espaço do ecossistema, conduzimos classificações supervisionadas do uso da terra utilizando o *software* ArcGIS Pro, utilizando imagens do satélite LANDSAT 5 disponíveis no Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (earthexplorer.usgs.gov) e do satélite CBERS-4A da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (dgi.inpe.br), devido as

suas imagens recentes com melhor resolução. Cinco períodos de tempo foram analisados: 1985, 1991, 2001, 2011 e 2021. Utilizando análises de sensoriamento remoto, mapeamos as áreas restantes do ecossistema e calculamos a porcentagem de degradação do ecossistema através da sobreposição dos mapas dos diferentes períodos analisados. Para locais com dúvidas sobre a presença das FNASG, utilizamos mapas mais precisos e de maior qualidade do Google Earth, bem como verificações *in loco*, incluindo fotografias e dados obtidos por meio de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas, para confirmar a presença das características fitofisionômicas.

Com base nos padrões observados nas análises de imagens de satélite obtidas por sensoriamento remoto desde 1985, estimamos as taxas de declínio previstas até 2035. Isso nos permite avaliar um período completo de 50 anos, conforme especificado no subcritério A2b da metodologia da LVE. Analisamos dois cenários distintos: (1) declínio linear e (2) declínio polinomial (SCHERER et al., 2020). Devido à carência de dados, os subcritérios A1 e A3 não foram avaliados, enquanto o subcritério A2a optamos em não avaliar, pois uma extrapolação para os próximos 50 anos não alteraria a categoria de ameaça encontrada no subcritério A2b.

Os limiares para classificação do risco de colapso do ecossistema foram: em Perigo Crítico se a redução da área das FNASG for $\geq 80\%$; Em Perigo se a redução for $\geq 50\%$; Vulnerável se a redução for $\geq 30\%$ (Tabela 1) e consideramos como Menos Preocupante se a redução do ecossistema for $< 30\%$ (BLAND et al., 2017).

Tabela 1. Classificação da categoria de risco do subcritério A2b: redução da distribuição geográfica em qualquer período de 50 anos (incluindo passado, presente e futuro). VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.

Subcritério	Período de tempo	CR	EN	VU
A2b	Qualquer período de 50 anos.	$\geq 80\%$	$\geq 50\%$	$\geq 30\%$

Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

2.3.2. Critério B: distribuição geográfica restrita

O critério B avalia a distribuição geográfica restrita, identificando ecossistemas com ocorrências em áreas pequenas que são vulneráveis a ameaças e desastres com localização específica. Realizamos a avaliação de dois subcritérios: o subcritério B1, que considera a Extensão de Ocorrência (EEO), e o subcritério B2, que aborda a Área

de Ocupação (AOO) (BLAND et al., 2017). Não avaliamos o subcritério B3 pelo fato do ecossistema estar presente em mais de 5 localidades não estar exposto a eventos estocásticos em um período e tempo curto, capaz de entrar em colapso ou se tornar criticamente ameaçado.

A partir do mapeamento das áreas remanescentes do ecossistema, realizamos duas análises espaciais correspondentes aos subcritérios B1 e B2. A análise EOO consistiu em medir um polígono convexo mínimo que englobasse todas as manchas do ecossistema remanescente em 2021. No *software* ArcGIS Pro, utilizamos a ferramenta "geometria de limite mínimo" com uma geometria de "envoltória convexa" que criou o menor polígono convexo que abrangia todo o ecossistema. Em seguida, utilizamos a área do polígono em km² para determinar a categoria de risco, seguindo as seguintes diretrizes: EOO com ≤ 2.000 km² é considerado Perigo Crítico; ≤ 20.000 km² é Em Perigo; ≤ 50.000 km² é Vulnerável (Tabela 2) e > 50.000 km² é Menos Preocupante (BLAND et al., 2017).

A análise AOO consistiu em criar quadrículas de 10 x 10 km nos remanescentes do ecossistema utilizando o *software* ArcGIS Pro, quadrículas com menos de 1% da área ocupada foram excluídas por contribuírem de forma insignificante para a propagação de riscos (BLAND et al., 2017). Em seguida, contamos o número de quadrículas ocupadas pelo ecossistema utilizando a ferramenta "selecionar por localização" (SCHERER et al., 2020). Utilizamos a quantidade de quadrículas ocupadas para definir a categoria de risco, seguindo as seguintes diretrizes: AOO com ≤ 2 quadrículas ocupadas é considerado Perigo Crítico; ≤ 20 quadrículas ocupadas é Em Perigo; ≤ 50 quadrículas ocupadas é Vulnerável (Tabela 2) e > 50 quadrículas ocupadas é Menos Preocupante (BLAND et al., 2017).

Tabela 2. Classificação da categoria de risco dos subcritérios B1 e B2: extensão de ocorrência e área de ocupação. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.

Subcritério	Medida de distribuição geográfica	CR	EN	VU
B1	Extensão da ocorrência de um polígono convexo mínimo (km ²).	≤ 2.000	≤ 20.000	≤ 50.000
B2	Área de ocupação de quadrículas de 10x10 km.	≤ 2	≤ 20	≤ 50

Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

Para classificar o ecossistema com base neste critério, pelo menos uma das seguintes condições adicionais precisa ser atendida: (a) observação ou inferência de

um declínio contínuo (i) na área ou (ii) na qualidade ambiental ou (iii) nas interações bióticas; (b) identificação de processos ameaçadores observados ou inferidos que possam causar declínios contínuos na distribuição geográfica, na qualidade ambiental ou nas interações bióticas nos próximos 20 anos; ou (c) existência do ecossistema em ≤ 10 locais para Vulnerável, ≤ 5 locais para Em Perigo e 1 para Perigo Crítico onde foram identificadas ameaças (BLAND et al., 2017).

2.3.3. Critério C: degradação ambiental

Esse critério identifica ecossistemas que estão passando por degradação ambiental dos recursos abióticos. O critério C utiliza a gravidade relativa da degradação que varia em escala de 0% (início do período de avaliação) até 100% (colapso) (BLAND et al., 2017).

Para calcular a gravidade das variáveis abióticas a seguinte equação foi utilizada:

$$\text{Gravidade relativa (\%)} = (\text{Declínio observado} \div \text{Declínio máximo}) \times 100$$

Onde:

$$\text{Declínio observado} = \text{Valor inicial} - \text{Valor presente}$$

$$\text{Declínio máximo} = \text{Valor inicial} - \text{Valor de colapso}$$

O aumento da temperatura e a diminuição da precipitação são algumas das principais ameaças abióticas que podem levar ao declínio das Florestas Nebulares (AULD; LEISHMAN, 2015). Desse modo, para o subcritério C1, usamos as variáveis bioclimáticas de precipitação anual e média anual da temperatura máxima de 1971 até 2021, totalizando 50 anos de avaliação, disponíveis no banco de dados da WorldClim (worldclim.org). Por falta de dados mais robustos, não avaliamos os subcritérios C2a, C2b e C3.

Estabelecemos o limiar crítico para o colapso da FNASG em aproximadamente 900 mm de precipitação média anual (AULD; LEISHMAN, 2015). Utilizamos este valor como referência para calcular a severidade relativa e consideramos que a precipitação anual se aplica a todo o ecossistema. Além disso, considerando que um aumento da temperatura média de até 4°C pode ter efeitos adversos na biodiversidade e no funcionamento destas florestas (LOOBY; TRESEDER, 2018), definimos como critério

de colapso um aumento de 4°C na média anual da temperatura máxima. Utilizamos esse valor para calcular a gravidade relativa, assumindo que esta variável também se aplica a todo o ecossistema.

A classificação do ecossistema seguiu a diretriz sugerida LVE, sendo como Perigo Crítico se a mudança ambiental for extremamente severa, representando uma gravidade relativa de pelo menos 80%, e se a extensão dessa mudança abranger pelo menos 80% da distribuição do ecossistema. A categoria Em Perigo se uma das duas condições, gravidade relativa ou extensão, atingir um valor $\geq 80\%$, enquanto a outra condição atingir um valor $\geq 50\%$. Se tanto a gravidade relativa quanto a extensão forem $\geq 50\%$, ou se uma das duas condições atingir um valor $\geq 30\%$, o ecossistema será considerado Vulnerável (Tabela 3). A categoria Quase Ameaçado atribui-se caso as FNASG não atendam aos percentuais em uma das condições. Se a gravidade relativa e a extensão forem $< 30\%$ o ecossistema é classificado como Menos Preocupante (BLAND et al., 2017).

Tabela 3. Classificação da categoria de risco do subcritério C1: últimos 50 anos com base na mudança em uma variável abiótica. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.

Subcritério	Período de tempo	Extensão	Gravidade relativa (%)		
			≥ 80	≥ 50	≥ 30
C1	Últimos 50 anos baseados na mudança de variáveis abióticas.	≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		

Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

2.3.4. Critério D: perturbação de processos bióticos e interações

O critério D identifica perturbações de perda ou interrupção de processos bióticos ou interações. A exemplo do critério anterior, o critério D também utiliza a gravidade relativa, com exceção de que se utilizam variáveis bióticas nas análises (BLAND et al., 2017).

A presença de espécies exóticas invasoras pode causar alterações na estrutura e composição dos ecossistemas, resultando em impactos negativos nos serviços ecossistêmicos (IUCN, 2021). Portanto, utilizando dados publicados pela Universidade de São Paulo sobre a probabilidade de ocorrência do javali (*Sus scrofa*) nos municípios brasileiros nos dias atuais (LOBO, 2022), avaliamos o subcritério D3,

uma vez que não dispomos de dados quantitativos sobre a presença do javali há 50 anos. Esse subcritério analisa a mudança histórica desde cerca de 1750 para comparar o estado atual do ecossistema com o estado provável antes das perturbações ocorrerem.

Devido ao intervalo de tempo mais longo, as porcentagens de classificação do ecossistema também são maiores. Seguimos as diretrizes sugeridas pela LVE para classificar o ecossistema. Ele é classificado como Perigo Crítico se a perturbação biótica for extremamente severa, com uma gravidade relativa de pelo menos 90%, e se essa perturbação abranger pelo menos 90% da distribuição do ecossistema. A categoria Em Perigo é atribuída se uma das duas condições, gravidade relativa ou extensão, atingir um valor \geq a 90%, enquanto a outra condição atingir um valor \geq a 70%. Se tanto a gravidade relativa quanto a extensão forem \geq a 70%, ou se uma das duas condições atingir um valor \geq a 50%, o ecossistema será considerado Vulnerável (Tabela 4). A categoria Quase Ameaçado é atribuída quando as FNASG não atendem aos percentuais em uma das condições. Se a gravidade relativa e a extensão forem $<$ 50%, o ecossistema é classificado como Menos Preocupante (BLAND et al., 2017).

Tabela 4. Classificação da categoria de risco dos subcritérios D1, D2a e D3: últimos e próximos 50 anos e período histórico. VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.

Subcritério	Período de tempo	Extensão	Gravidade relativa (%)		
			≥ 80	≥ 50	≥ 30
D1	Últimos 50 anos baseados na mudança de variáveis bióticas.	≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
D2a	Próximos 50 anos baseados na mudança de variáveis bióticas.	≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
D3	Desde 1750 baseado na mudança de variáveis bióticas.	≥ 90	CR	EN	VU
		≥ 70	EN	VU	
		≥ 50	VU		

Fonte: adaptado de (BLAND et al., 2017).

De forma conservadora, estimamos a densidade do rebanho bovino nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral para avaliar os subcritérios D1 e D2a. A presença do gado em sistemas florestais causa danos ambientais nas características e processos tanto bióticos e abióticos do ecossistema (BALL;

TZANOPOULOS, 2020; KILKA; HIGUCHI; SILVA, 2020; DAVIDSON et al., 2017; ELBRIDGE et al., 2016; ARAUJO et al., 2010). Usamos dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), que anualmente coleta informações sobre o número de animais criados, incluindo o gado, nos municípios. Esses dados estão disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (www.ibge.gov.br) e contém informações sobre a quantidade de bovinos desde 1974 até os dados mais recentes de 2021. Com base nessas informações, realizamos o cálculo da quantidade de bovinos por hectare para cada município com presença do ecossistema. Em seguida, multiplicamos essa densidade pela área de FNASG de cada município. Para obter a estimativa total do número de cabeças de gado no ecossistema, somamos os resultados de todos os municípios. Por fim, recalculamos a densidade, desta vez considerando a área total do ecossistema, o que nos permitiu estimar a provável quantidade de cabeças de gado nas FNASG e determinar a densidade do rebanho no ecossistema como um todo.

Com base nas observações sobre o aumento da densidade do gado nas FNASG, realizamos projeções de declínio para os próximos 50 anos, até 2071, utilizando o subcritério D2a da LVE. Para isso, consideramos duas taxas de declínio distintas: uma projeção linear e outra projeção polinomial. Essas projeções nos permitem avaliar possíveis cenários futuros em relação à densidade do gado no ecossistema (SCHERER et al., 2020). Na avaliação do subcritério D2b, utilizamos um intervalo temporal que abrange 25 anos para o passado e 25 anos para o futuro, totalizando assim um período de avaliação de 50 anos. Efetuamos projeções tanto linear quanto polinomial até o ano de 2046 para a análise do subcritério D2b (SCHERER et al., 2020).

As porcentagens de classificação de risco do ecossistema são as mesmas para os subcritérios D1, D2a e D2b. As FNASG são classificadas como Perigo Crítico se a gravidade relativa atingir pelo menos 80%, e abranger pelo menos 80% da distribuição do ecossistema. A categoria Em Perigo é atribuída se uma das duas condições, gravidade relativa ou extensão, atingir um valor \geq a 80%, enquanto a outra condição atingir um valor \geq a 50%. Se tanto a gravidade relativa quanto a extensão forem \geq a 50%, ou se uma das duas condições atingir um valor \geq a 30%, o ecossistema será considerado Vulnerável (Tabela 4). A categoria Quase Ameaçado é atribuída quando as FNASG não atendem aos percentuais em uma das condições. Se a gravidade

relativa e a extensão forem $<$ a 30%, o ecossistema é classificado como Menos Preocupante (BLAND et al., 2017).

2.4. ÁREAS PROTEGIDAS

Utilizamos os dados da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável para analisar a extensão do ecossistema protegido por Área de Preservação Permanente (APP). Além disso, obtivemos informações sobre as áreas protegidas por Unidades de Conservação (UCs) por meio do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Mapeamos e calculamos todos os dados através do *software* ArcGIS Pro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

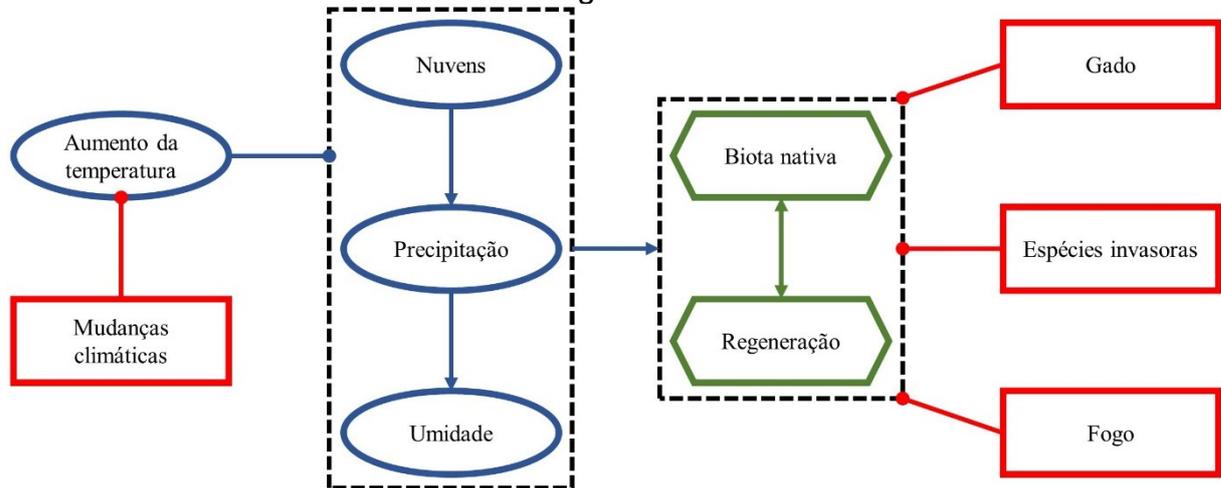
3.1. MODELO CONCEITUAL

As mudanças climáticas são uma das principais ameaças identificadas que impactam a dinâmica do ecossistema, resultando no aumento da temperatura e afetando o padrão de precipitação, umidade e cobertura de nuvens (AULD; LEISHMAN, 2015; PONCE-REYES et al., 2013). A biota nativa e sua capacidade de regeneração natural, juntamente com sua resiliência, são diretamente ameaçadas por incêndios, atividades pecuárias e espécies invasoras (KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020; CUEVAS et al., 2012; FALKENBERG, 2003).

O modelo conceitual de causa e efeito destacou as principais ameaças representadas pelas queimadas, presença de gado e espécies invasoras, que têm impactos negativos na flora e fauna nativas, bem como no processo de regeneração do ecossistema, o que envolve também o sistema de funcionamento do ecossistema com o terceiro componente, a funga (KUHAR et al. 2018). Além disso, a mudança climática desempenha um papel significativo ao aumentar a temperatura e diminuir características abióticas cruciais, como umidade, precipitação e frequência de nuvens no ecossistema (Figura 7).

A mudança climática é uma ameaça significativa para as Florestas Nebulares. As projeções do balanço hídrico, influenciadas pela crise climática, indicam uma tendência de secas significativas nas Florestas Nebulares da costa atlântica brasileira no período de 2000 a 2050, o que provavelmente terá impactos na biodiversidade e no funcionamento ecológico desse ecossistema (BRUIJNZEEL et al., 2010).

Figura 7. Modelo conceitual de causa e efeito nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. As caixas vermelhas representam ameaças, as elipses azuis representam o meio ambiente e os processos abióticos, os hexágonos verdes representam componentes e processos bióticos. As caixas pontilhadas representam características bióticas e abióticas do ecossistema suscetíveis a ameaças. As setas pontiagudas indicam efeitos positivos e as setas arredondadas indicam efeitos negativos.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2. CRITÉRIO A

Usando imagens de satélite LANDSAT 5, estimou-se que em 1985 as FNASG ocupavam 675,94 km², em 1991 diminuiu para 673,30 km² (redução de 0,36% de sua área em 1985), em 2001 para 669,81 km² (0,91%), em 2011 669,40 km² (0,97%), enquanto em 2021, com imagens de satélite CBERS-4A, haviam diminuído para 669,45 km² (0,96%) (Tabela 5). Essas estimativas permitiram a avaliação do estado do ecossistema sob o subcritério A2b, usando o intervalo de 1985-2021 para primeiro estimar uma taxa de mudança observada ao longo de 36 anos e depois extrapolar as perdas projetadas para 2035, período de 50 anos analisado. No período observado o ganho de território foi de 6,11 km² enquanto a perda foi de 12,70 km² (Figura 8).

As projeções mostram que assumindo o cenário de declínio linear as FNASG ocuparão 665,69 km² em 2035, uma diminuição de 1,52% do território. Assumindo o cenário de declínio polinomial, as Florestas Nebulares ocuparão 673,50 km² em 2035, uma diminuição de 0,36% (Figura 9). Em ambos os cenários o subcritério A2b leva a uma classificação de Menos Preocupante, similar à classificação do critério A aplicada à Floresta Nebular na Ilha de Lord Howe, as quais permaneceram inalteradas em termos de extensão nos últimos 50 anos (AULD; LEISHMAN, 2015). Com as projeções

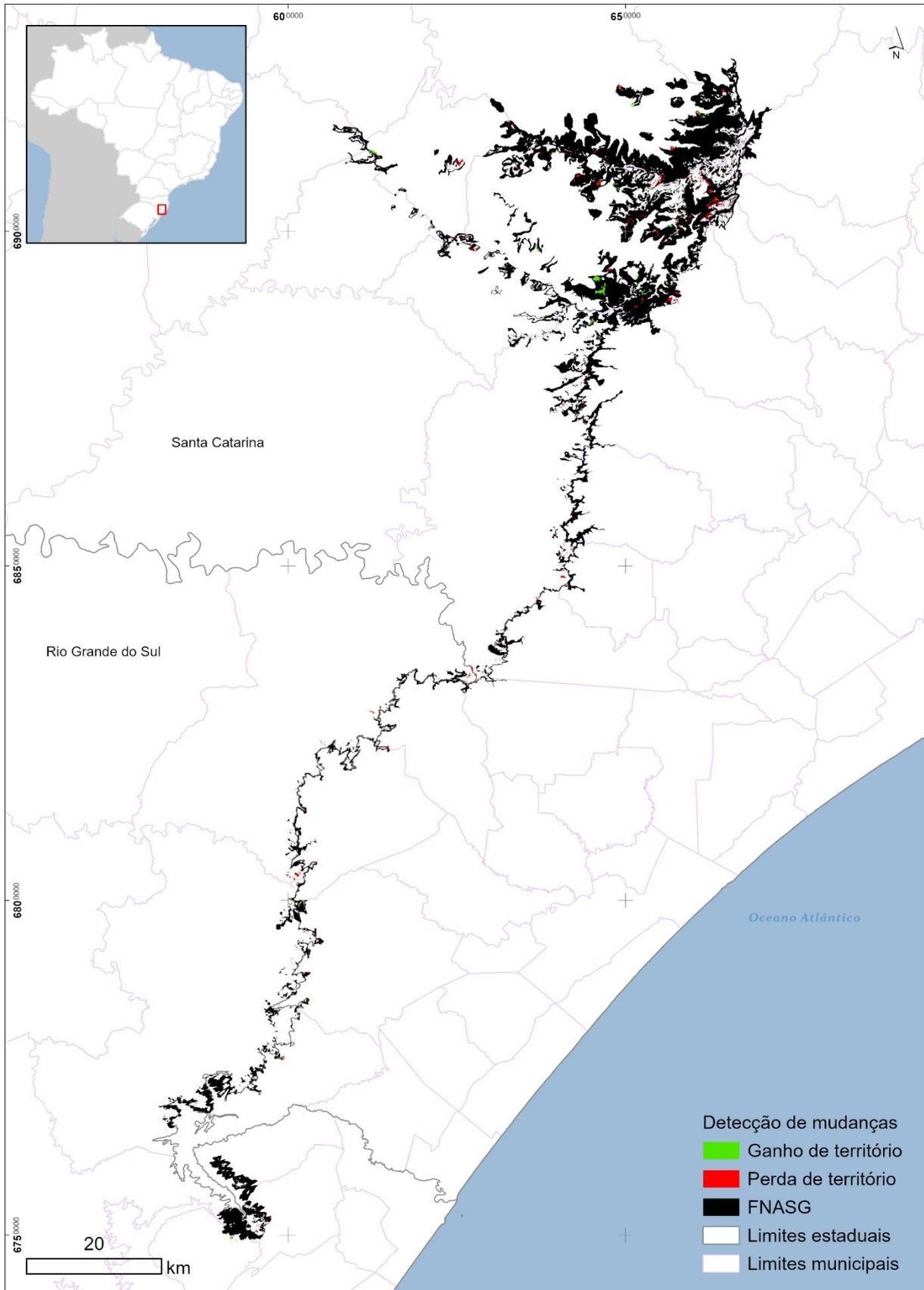
indicando perdas baixas do território e até mesmo uma tendência de ganho de área em uma das projeções para os próximos 14 anos, evidencia que mesmo em projeções para os 50 anos para o subcritério A2a o ecossistema não entraria em uma categoria de ameaça.

Tabela 5. Redução da distribuição geográfica das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.

Ano	Área km²
1985	675,94
1991	673,30
2001	669,81
2011	669,40
2021	669,45

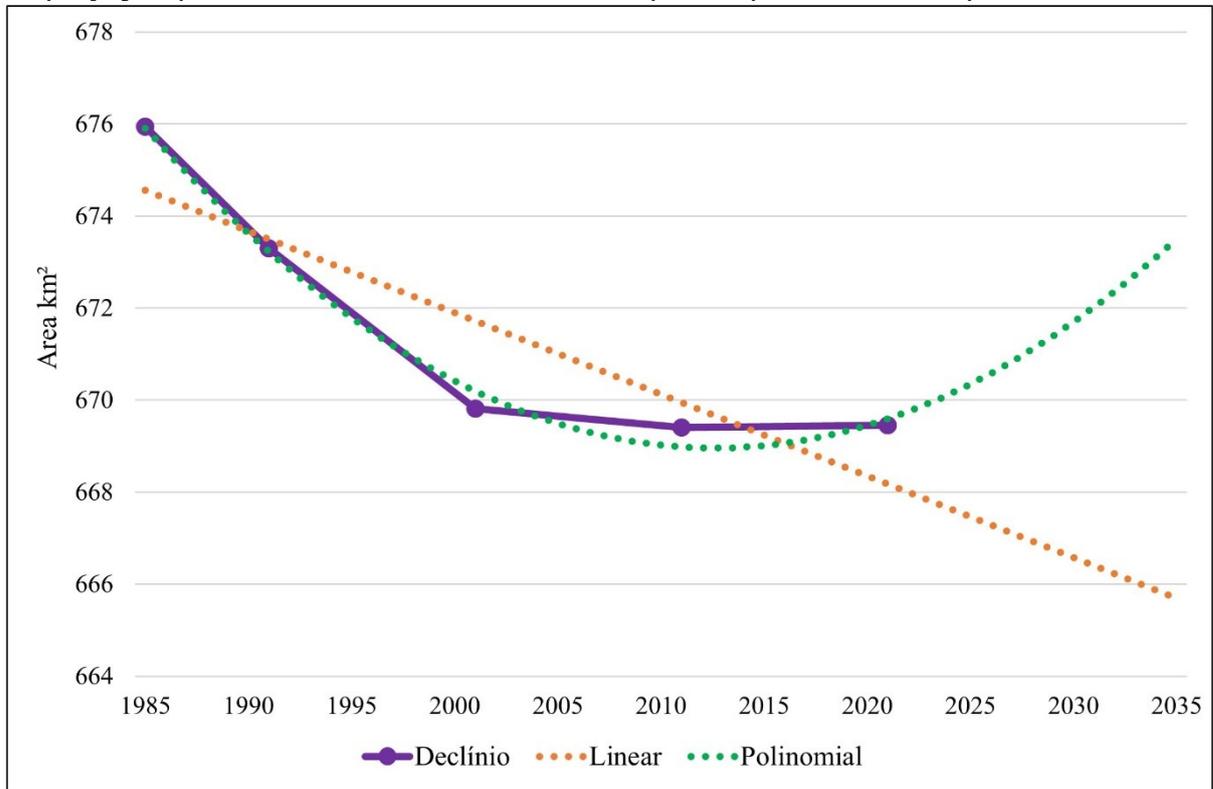
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8. Mudanças no território das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) entre 1985 até 2021. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9. Projeções de declínio em área do ecossistema de Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Há um declínio de 1,52% na projeção linear enquanto na projeção polinomial o declínio é de 0,36% para o período de tempo 1985-2035.



Fonte: elaborado pelo autor.

Embora não tenha havido uma perda significativa, é importante alertar para o fato de que a fragmentação florestal é de ocorrência comum nas regiões tropicais, onde a maioria das florestas apresenta algum grau de fragmentação. Esse processo é causado principalmente pela perda de habitat devido à expansão agrícola (TAUBERT et al., 2018). Especificamente nas FNASG, observamos que a perda de cobertura florestal foi predominantemente ocasionada pela introdução da silvicultura de *Pinus* spp. Essa redução no tamanho da floresta pode levar a um aumento da temperatura local. A diminuição da cobertura vegetal e a falta de conexões entre os fragmentos florestais resultam em mudanças climáticas locais, como menos sombra e maior exposição ao sol. Essas alterações climáticas têm efeitos negativos sobre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas florestais (ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2017). Ou seja, embora a perda não seja significativa em área,

ela pode representar um alerta na qualidade dos ambientes que não fica devidamente aparente pela aplicação do Critério A.

A fragmentação de florestas resulta na criação de áreas de transição conhecidas como bordas, que se situam entre dois ecossistemas adjacentes, gerando o que é denominado como efeito de borda (MURCIA, 1995). As FNASG, por representarem um ecossistema estreito, já estão naturalmente expostas ao efeito de borda. Contudo, a fragmentação adicional agrava ainda mais a situação, podendo ter impactos significativos sobre todo o ecossistema.

O efeito de borda é caracterizado por mudanças nas condições ambientais, tais como aumento de temperatura, maior exposição ao vento, aumento da incidência de luz solar e alterações na umidade (HOFMEISTER et al., 2019; LAURENCE et al., 2007; HARPER et al., 2005; MURCIA, 1995). Essas alterações podem criar microclimas distintos na borda em comparação com o interior da floresta (HOFMEISTER et al., 2019). Conseqüentemente, muitas espécies que são especializadas e requerem condições ótimas de interior da floresta podem ser negativamente afetadas pela exposição às condições adversas na borda, o que impacta também na condição mais preservada do ambiente, característico de florestas maduras e com poucos impactos.

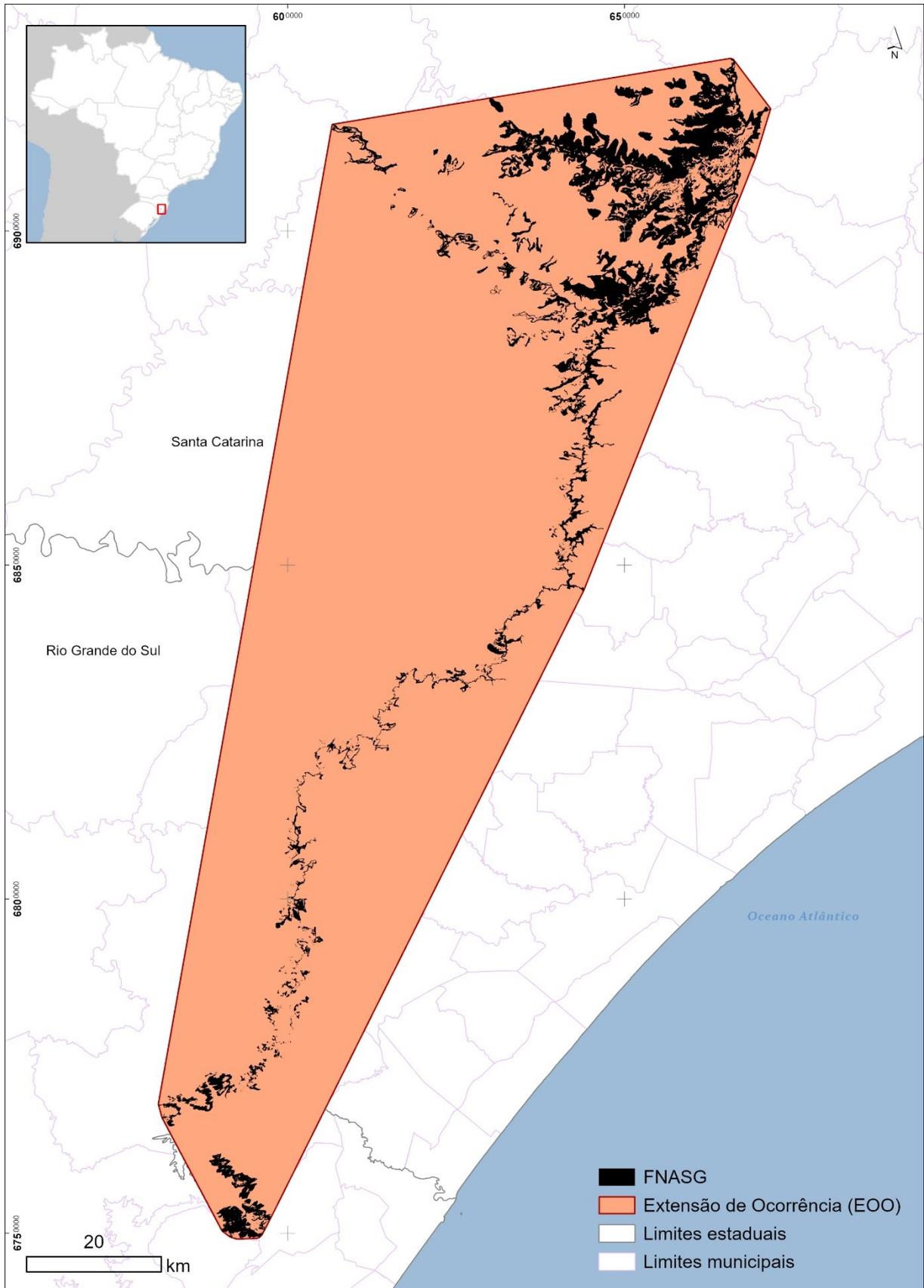
De modo geral, as conseqüências do efeito de borda podem ser divididas em três tipos distintos: efeitos abióticos, que implicam mudanças nas condições ambientais; efeitos biológicos diretos, que se relacionam com alterações na abundância e distribuição das espécies; e efeitos biológicos indiretos, que envolvem mudanças nas interações interespecífica e intraespecífica (MURCIA, 1995). É importante considerar que a fragmentação e o aumento do efeito de borda podem ter um impacto significativo na dinâmica de processos ecológicos fundamentais, tais como produtividade, evapotranspiração, decomposição, polinização, dispersão de sementes e ciclagem de nutrientes (HARPER et al., 2005). Essas mudanças podem desencadear conseqüências em cascata para todo o ecossistema, afetando a estrutura, a qualidade e, por conseqüência, o funcionamento da floresta como um todo. Torna-se ainda mais evidente a necessidade de adotar medidas de conservação e manejo adequado das FNASG devido a sua configuração geográfica.

3.3. CRITÉRIO B

A análise do subcritério B1, extensão de ocorrência (EEO), mostrou que o polígono convexo mínimo ocupa a área de 7.501,78 km² (Figura 10) e a do subcritério B2, área de ocupação (AOO), o ecossistema ocupa 49 quadrículas de 10 x 10 km com mais de 1% da área ocupada (Figura 11).

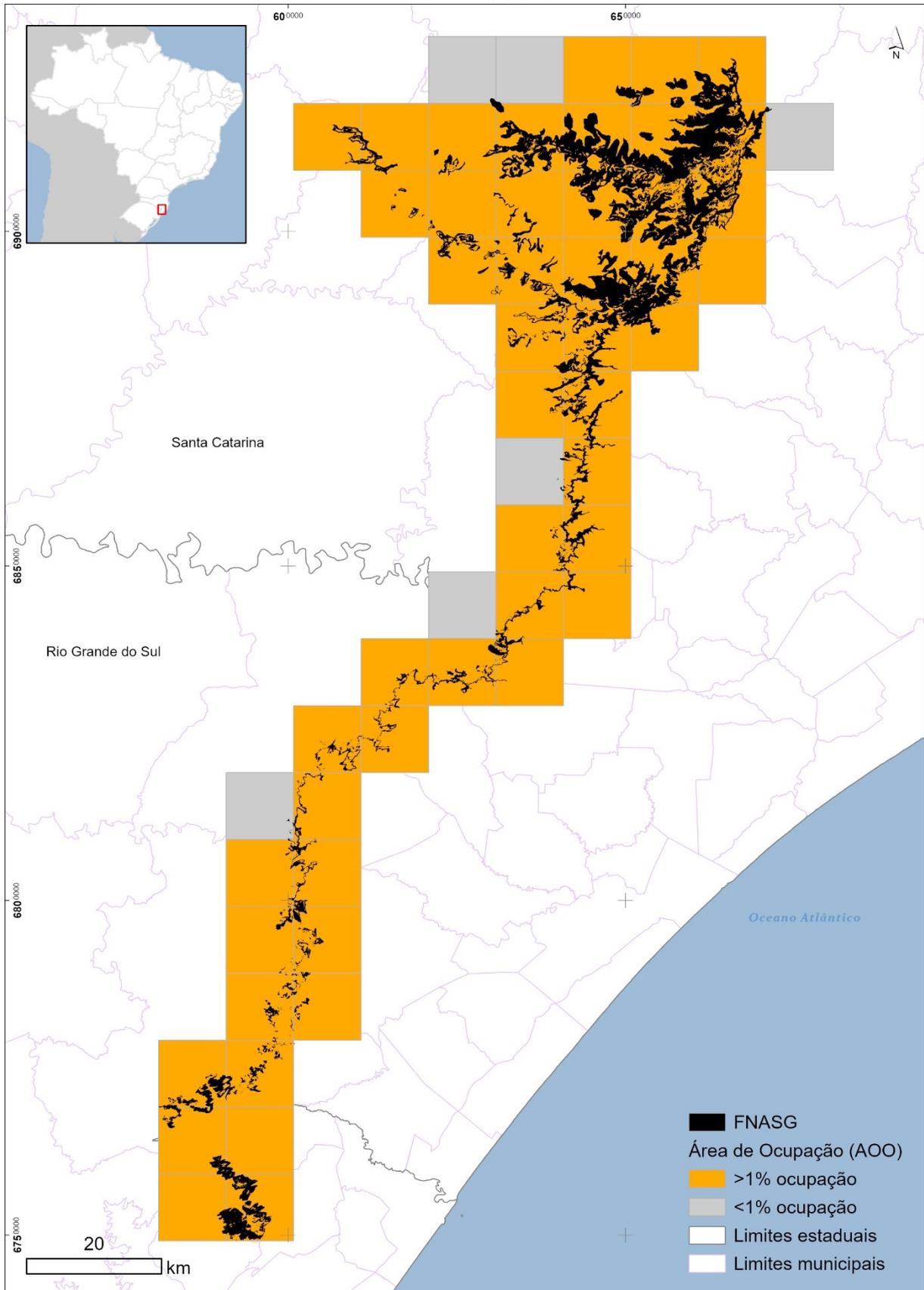
Durante nossa análise do ecossistema, notamos um crescimento constante na temperatura e na quantidade de gado, como pode ser visto nos Critérios C e D abaixo, atendendo às condições adicionais (a)ii e (a)iii do Critério B. Adicionalmente, as ameaças do aumento de temperatura para o futuro como projetadas por causa da crise do clima (BRUIJNZEEL et al., 2010), poderão causar distúrbios da qualidade ambiental e a tendência de aumento da densidade de gado para os próximos anos impactando o sub-bosque poderá causar danos consideráveis nas interações bióticas, reduzindo a regeneração natural e selecionando espécies tolerantes e intolerantes ao pastejo (FALKENBERG, 2003). Da mesma forma que a Floresta Nebular na Ilha de Lord Howe que enfrenta uma redução constante da precipitação e cobertura de nuvens e sucessiva predação de sementes de espécies-chave por roedores, resultando em impactos negativos nos elementos abióticos e bióticos do ecossistema, classificada como estado de Perigo Crítico com base nos subcritérios B1 e B2 (AULD; LEISHMAN, 2015). Estas evidências tornam elegível o ecossistema para classificação em uma categoria de ameaça sob o critério B. Conseqüentemente, o estado do ecossistema se enquadra na categoria de Em Perigo de acordo com os subcritérios B1aii, iii e B1b, bem como na categoria de Vulnerável de acordo com os subcritérios B2aii, iii e B2b.

Figura 10. Extensão de ocorrência, polígono convexo mínimo das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11. Área de ocupação, número de quadrículos de 10 x 10 km ocupados pelas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

A categorização como Em Perigo no subcritério B1 ($EOO < 20.000 \text{ km}^2$) indica que as FNASG enfrentam uma ameaça substancial à sua extensão geográfica. Esta classificação é preocupante, uma vez que a diminuição do ecossistema pode resultar na fragmentação do habitat, influenciando negativamente a disponibilidade de serviços ecossistêmicos diversos que o ecossistema oferece (MITCHELL; BENNETT; GONZALEZ, 2014). As razões subjacentes a essa diminuição podem ser diversas, incluindo pressões decorrentes de atividades humanas, como desmatamento, urbanização sem planejamento adequado e alterações no uso da terra (TAUBERT et al., 2018).

A classificação como Vulnerável no subcritério B2 ($AOO < 50$) indica que a área ocupada efetivamente pelas FNASG está sob pressão de ameaças. Isso sugere a possibilidade de uma diminuição na qualidade e disponibilidade dos habitats dentro da região. A notável vulnerabilidade dessa classificação destaca a importância de avaliar não somente a extensão geográfica, mas também a qualidade dos habitats existentes e a capacidade do ecossistema de sustentar a vida selvagem. É importante observar que a fragmentação do habitat tem impactos diretos nos ecossistemas e nas espécies, alterando a composição das comunidades, diminuindo a diversidade de espécies e afetando a dinâmica das populações (FAHRIG, 2017).

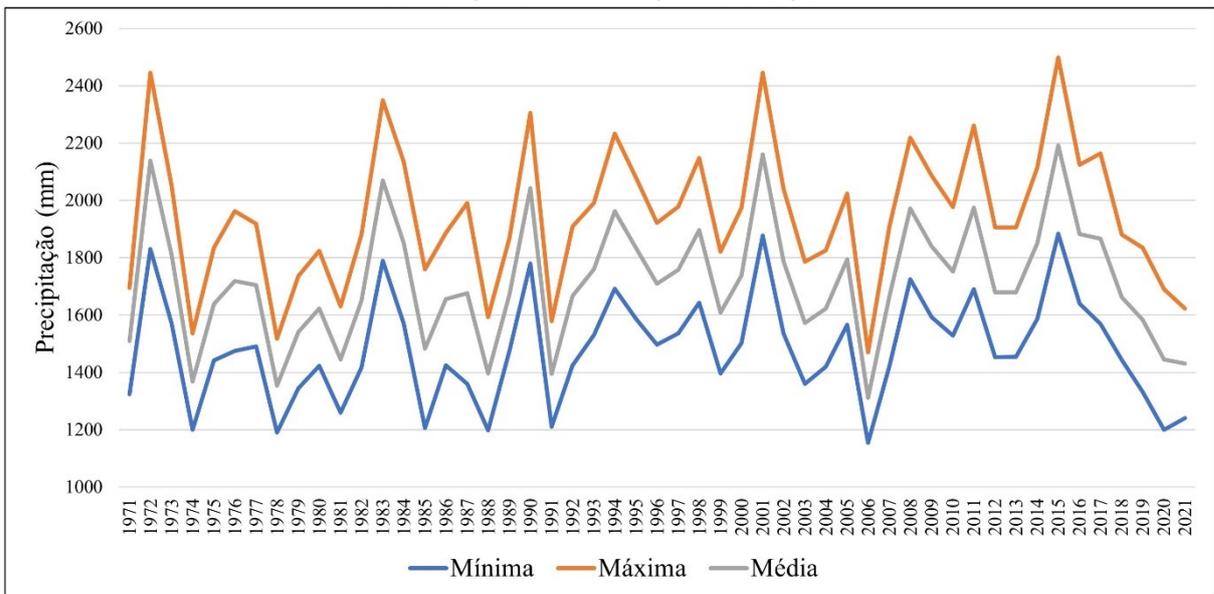
As categorizações relacionadas a um ecossistema em risco nos subcritérios B1 e B2 constituem avisos contundentes sobre os obstáculos de conservação que tal ecossistema enfrenta. As conclusões derivadas das avaliações da EOO e da AOO indicam que as pressões antrópicas têm o potencial de colocar em risco a integridade desse ambiente.

3.4. CRITÉRIO C

Segundo as informações coletadas, a média da precipitação anual na região das FNASG foi de 1.509,37 mm no ano de 1971, enquanto que em 2021, esse número diminuiu para 1.431,50 mm. Ao longo de todo o intervalo de avaliação, ocorreram diversas flutuações na precipitação com momentos de intensa precipitação seguidos por períodos de menor pluviosidade. Indicando que não há uma tendência de diminuição da precipitação anual no ecossistema com base nos últimos 50 anos. O ano de 2006 foi o que registrou a menor quantidade de chuva desde o início das medições com média anual de 1.312,06 mm, e o ano de 2015 foi o que apresentou a

maior quantidade, com uma média anual de 2.191,74 mm (Figura 12). A redução da precipitação é um fator abiótico que pode ter impactos negativos em Florestas Nebulares. Isso pode causar uma diminuição na disponibilidade de umidade, o que por sua vez reduz as chances de sobrevivência das espécies que compõem essas florestas (AULD; LEISHMAN, 2015).

Figura 12. Gráfico da precipitação anual nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.



Fonte: elaborado pelo autor.

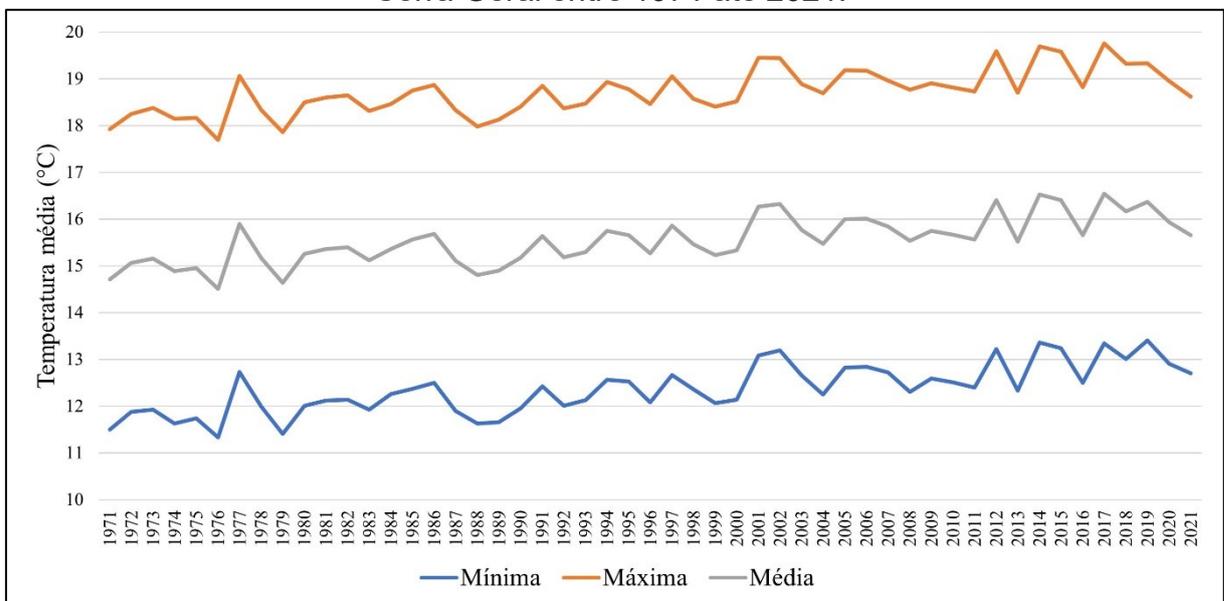
De acordo com os dados coletados durante o período de 50 anos de observação, a quantidade de precipitação no ecossistema diminuiu 5,16%. O limite de colapso de Florestas Nebulares é aproximadamente 900 mm de precipitação anual (AULD; LEISHMAN, 2015), utilizando esse limite, o cálculo da gravidade relativa foi: $(\text{Declínio observado}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (1.509,37 - 1.431,50) \div (1.509,37 - 900) \times 100 = 12,78\%$. Considerando que a precipitação anual se estende para o todo o ecossistema, a extensão de ocorrência do declínio é de 100%. Desta forma, as FNASG são classificadas como Quase Ameaçado no subcritério C1 em relação à precipitação (gravidade relativa < 30% em uma extensão $\geq 80\%$ nos últimos 50 anos).

Este resultado é quase semelhante ao encontrado em um estudo anterior de Auld e Leishman (2015). Os autores identificaram que a Floresta Nebular na Ilha de Lord Howe sofreu um declínio de 31% na quantidade de chuva, com a menor quantidade de precipitação registrada em 1997, com um total de 990 mm. Devido a essa queda na quantidade de chuva, as florestas foram consideradas Vulneráveis.

Mudanças na variabilidade das chuvas podem ter impactos significativos nos ecossistemas de Florestas Nebulares. Esses impactos podem incluir um aumento na probabilidade de eventos extremos de precipitação, como inundações e secas prolongadas, bem como uma redução na quantidade de chuva durante a temporada chuvosa (SARMIENTO; KOOPERMAN, 2019; PENDERGRASS et al., 2017). Níveis baixos de precipitação podem provocar pontos de inflexão no ecossistema, influenciando a produtividade florestal, irreversíveis nos piores cenários (AU et al., 2023). Para proteger esses ecossistemas únicos e críticos para a biodiversidade, é sugerido que sejam combinados dados existentes com observações de campo e modelagens para avaliar melhor as respostas hidroclimáticas e ecofisiológicas das Florestas Nebulares às mudanças climáticas e melhorar sua representação (HU; RIVEROS-IREGUI, 2016).

Já no que diz respeito às temperaturas, ao longo dos 50 anos de avaliação, as temperaturas máximas e mínimas nas FNASG aumentaram. O ano mais frio foi 1976, com uma temperatura média anual de 14,51°C. Já o ano mais quente foi 2017, com uma temperatura média anual de 16,55°C, uma diferença de 2,04°C (Figura 13).

Figura 13. Temperaturas médias anuais nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.

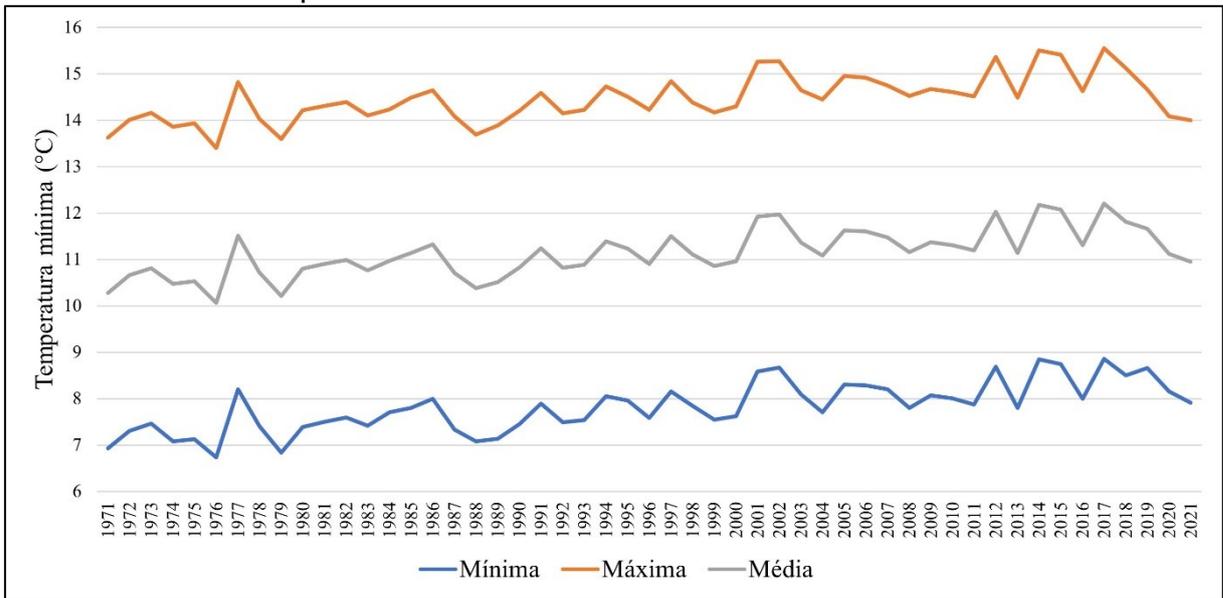


Fonte: elaborado pelo autor.

O aumento nas variáveis da média anual da temperatura mínima e máxima são fatores que podem afetar a cobertura de nuvens nas Florestas Nebulares (AULD;

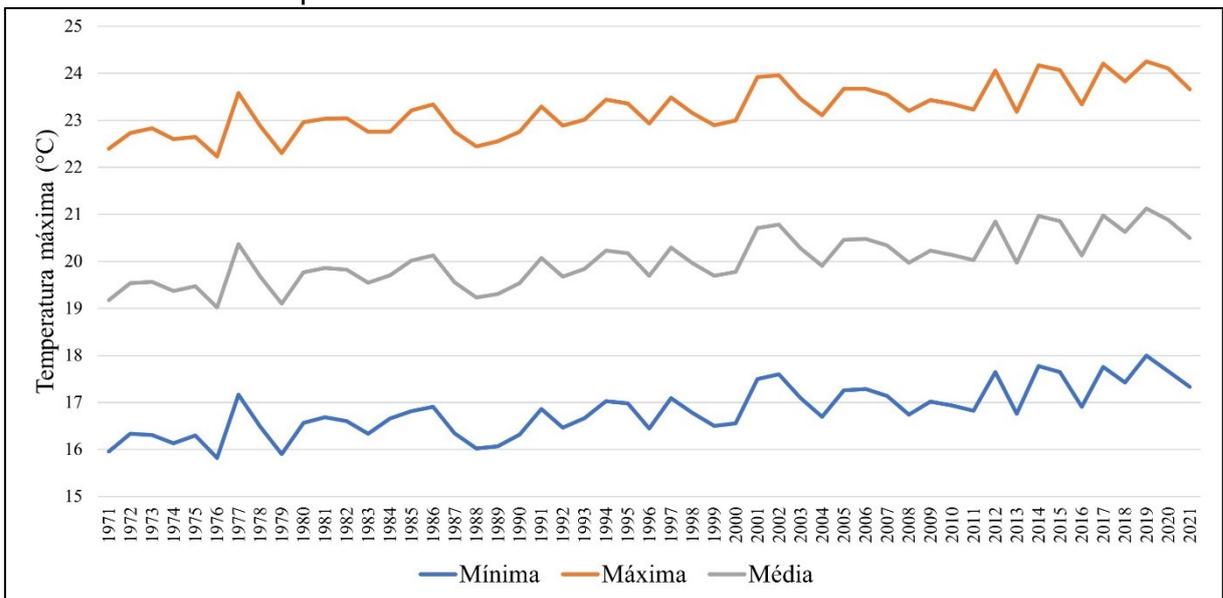
LEISHMAN, 2015). Em nossa avaliação, constatamos um aumento dessas variáveis ao longo dos anos, com uma média anual da temperatura mínima de 10,28°C em 1971 e 10,96°C em 2021, aumento de 0,68 °C (Figura 14), e uma média anual da temperatura máxima de 19,17°C no início da avaliação e 20,50°C no final da avaliação, diferença de 1,33°C (Figura 15).

Figura 14. Média anual da temperatura mínima nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15. Média anual da temperatura máxima nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral entre 1971 até 2021.



Fonte: elaborado pelo autor.

O aquecimento global tem diversos efeitos sobre as Florestas Nebulares, influenciando tanto a diversidade de espécies locais como os serviços ecossistêmicos fornecidos por essas florestas. As mudanças climáticas interferem nos fatores abióticos que moldam esse ecossistema, o que pode permitir que espécies de outros ecossistemas invadam essas áreas (ELLER et al., 2020; BELLARD et al., 2012).

Uma pesquisa realizada por meio de um experimento de translocação de solo revelou que o aquecimento de até 4°C e a seca podem aumentar a capacidade do solo de decompor formas instáveis de carbono e substâncias complexas por meio da ação de fungos. Isso pode resultar em uma maior liberação de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Além disso, o aumento de patógenos em condições mais quentes e secas pode afetar negativamente a biodiversidade dessas florestas (LOOBY; TRESEDER, 2018).

O aumento da temperatura parece estar associado a mudanças na cobertura de nuvens (AULD; LEISHMAN, 2015). A elevação da camada de nuvens também pode afetar o funcionamento dessas florestas, influenciando a comunidade de fungos presente em seu ambiente (LOOBY; TRESEDER, 2018). Essas descobertas ressaltam a importância de compreender e monitorar o impacto do aquecimento global sobre as Florestas Nebulares e seus ecossistemas complexos.

Diante disso, para avaliar o impacto do aquecimento, estabelecemos como limite de colapso um aumento de 4°C na média anual da temperatura máxima. Pois representa as maiores temperaturas registradas na avaliação das FNASG, que era, em 1971, de 19,17°C, e, portanto, o limite de colapso foi estabelecido em 23,17°C.

O cálculo da gravidade relativa ficou: $(\text{Declínio observado}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (19,17-20,50) \div (19,17-23,17) \times 100 = 33,25\%$. Considerando que esse declínio se aplica a todo o ecossistema, a extensão da ocorrência da ameaça é de 100%. Com base nesses dados, o ecossistema é classificado como Vulnerável no subcritério C1 (gravidade relativa $\geq 30\%$ em uma extensão $\geq 80\%$ nos últimos 50 anos) em relação à média anual da temperatura máxima.

As Florestas Nebulares possuem condições hidroclimáticas únicas que resultam em comunidades funcionais distintas das encontradas em outras florestas tropicais, o que leva a diferentes respostas ecofisiológicas ao clima (ELLER et al., 2020). Qualquer mudança no clima pode ter implicações ecológicas significativas nessas florestas (LOOBY; MALTZ; TRESEDER, 2016). Para uma compreensão mais

aprofundada das respostas das espécies, a pesquisa sobre o impacto climático deve ir além do foco apenas em indivíduos e espécies, devendo também explorar as interações e dependências entre eles (WALTHER, 2010).

Bellard et al. (2012) destacam a fragilidade dos modelos matemáticos existentes que foram desenvolvidos para prever os impactos das mudanças climáticas. Pois podem levar à subestimação ou superestimação dos riscos para a biodiversidade. Esses modelos geralmente focam em prever mudanças futuras na distribuição, extinção ou abundância das espécies, e incluem abordagens como Modelos de Envelope Bioclimático, Modelos Dinâmicos de Vegetação, Relações Espécie-Área, métodos de status da IUCN e Relações Dose-Resposta. Por isso, propõe-se uma abordagem coletiva, por meio de grandes meta estudos, que abarcam diversos componentes da biodiversidade, considerando diferentes escalas de tempo e espaço, bem como diferentes modelos, para inferir semelhanças e avaliar inconsistências. Essa iniciativa tem o objetivo de melhorar significativamente nossa compreensão e previsão dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos (BELLARD et al., 2012).

O monitoramento contínuo da FNASG desempenha um papel crucial na compreensão e resposta às mudanças climáticas. Ao acompanhar de perto, é possível não apenas avaliar como a FNASG está reagindo, mas também identificar áreas mais afetadas a essas transformações ambientais. Para alcançar esse objetivo, é crucial prever a vulnerabilidade das Florestas Nebulares em todo o mundo. Essa previsão permitirá estabelecer prioridades para a conservação das florestas e preparar as comunidades humanas para possíveis perdas e para a proteção dos serviços ecossistêmicos que essas florestas fornecem (ELLER et al., 2020). Além disso, é imperativo analisar de que maneira tais mudanças climáticas afetam o ciclo hidrológico (BRUIJNZEEL et al., 2010). Entender esses impactos é vital para a gestão eficaz dos recursos hídricos, especialmente em regiões onde a FNASG desempenha um papel fundamental na regulação do equilíbrio hídrico.

Ao compreender de maneira mais aprofundada as ameaças enfrentadas pela FNASG, torna-se possível adotar medidas proativas para preservar esses ambientes singulares e assegurar a sua capacidade de resistência diante dos obstáculos apresentados pelas mudanças climáticas. Entender a resiliência do ecossistema permite examinar como ele persiste em fornecer serviços ecossistêmicos, mesmo em situações desfavoráveis. Isso engloba a habilidade de manter funções essenciais,

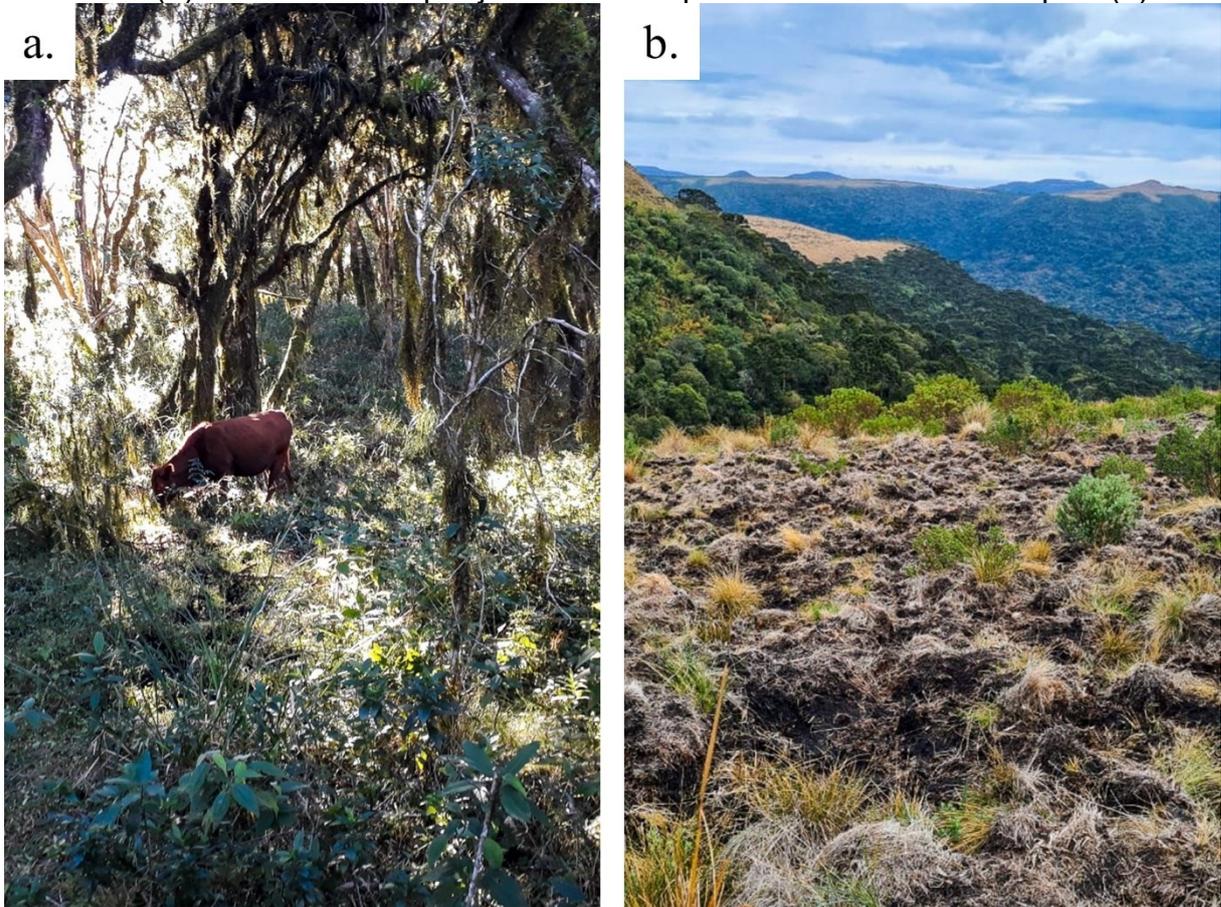
como a purificação da água, a regulação do clima local e o apoio à biodiversidade, mesmo diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (BRUIJNZEEL et al., 2010).

3.5. CRITÉRIO D

Nos locais em que realizamos expedições à campo foi constatada a presença de gado e javali (Figura 16), além de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. Essas espécies proporcionam um impacto significativo nos ecossistemas nativos. Elas podem competir com a biota nativa por recursos e alterar os ciclos de nutrientes (LOBO, 2022; KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020). Além disso, espécies invasoras muitas vezes não têm inimigos naturais no novo ambiente, o que pode levar a populações descontroladas e a uma rápida expansão geográfica. Consequentemente, essas espécies-chave podem alterar a identidade e o comportamento do ecossistema, tornando o habitat inadequado para a persistência da biota nativa e, potencialmente, levando a um declínio da biodiversidade (BLAND et al., 2017). Portanto, é importante monitorar e controlar a presença de espécies invasoras em áreas naturais e restaurar as áreas afetadas para promover a recuperação do ecossistema nativo.

Nos últimos 30 anos, o Brasil assistiu de forma passiva ao crescimento da população de javalis (Plano Javali, 2017). Esses animais exóticos e invasores graças a suas características excepcionais, como alta taxa de reprodução, hábitos alimentares variados e falta de predadores naturais, os javalis se adaptaram bem em quase qualquer ambiente e agora há registro em cerca de 30% dos municípios brasileiras. A predação de plantações é um dos principais problemas causados por esses animais, mas não é o único. Os javalis também são portadores de diversas doenças que podem afetar humanos e outros animais, além de competirem por recursos com a fauna nativa, poluírem rios e nascentes e ameaçarem a flora e a fauna locais. Diante desse conflito entre humanos e animais, especialmente os javalis, é fundamental refletir sobre políticas de manejo da fauna (LOBO, 2022).

Figura 16. Evidências de ameaças às Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Gado se alimentando da regeneração no Parque Nacional de Aparados da Serra (a) e solo revirado por javalis no Parque Nacional de São Joaquim (b).



Fonte: MIND.Funga.

O controle do javali pode ser realizado de várias maneiras, como por meio de caça, armadilhas e iscas envenenadas, mas a tecnologia utilizada para cada modalidade depende da legislação aplicável (TISDELL, 2013). No Brasil, o controle do javali vem sendo institucionalizado desde 1995, mas somente em 2013 foi declarado como nocivo e considerado uma praga rural por meio de uma lei federal promulgada. Em 2017, o Plano Javali foi criado para estabelecer diretrizes gerais para o controle populacional da espécie a fim de conter a expansão territorial e demográfica do javali no país e reduzir os seus impactos (PLANO JAVALI, 2017).

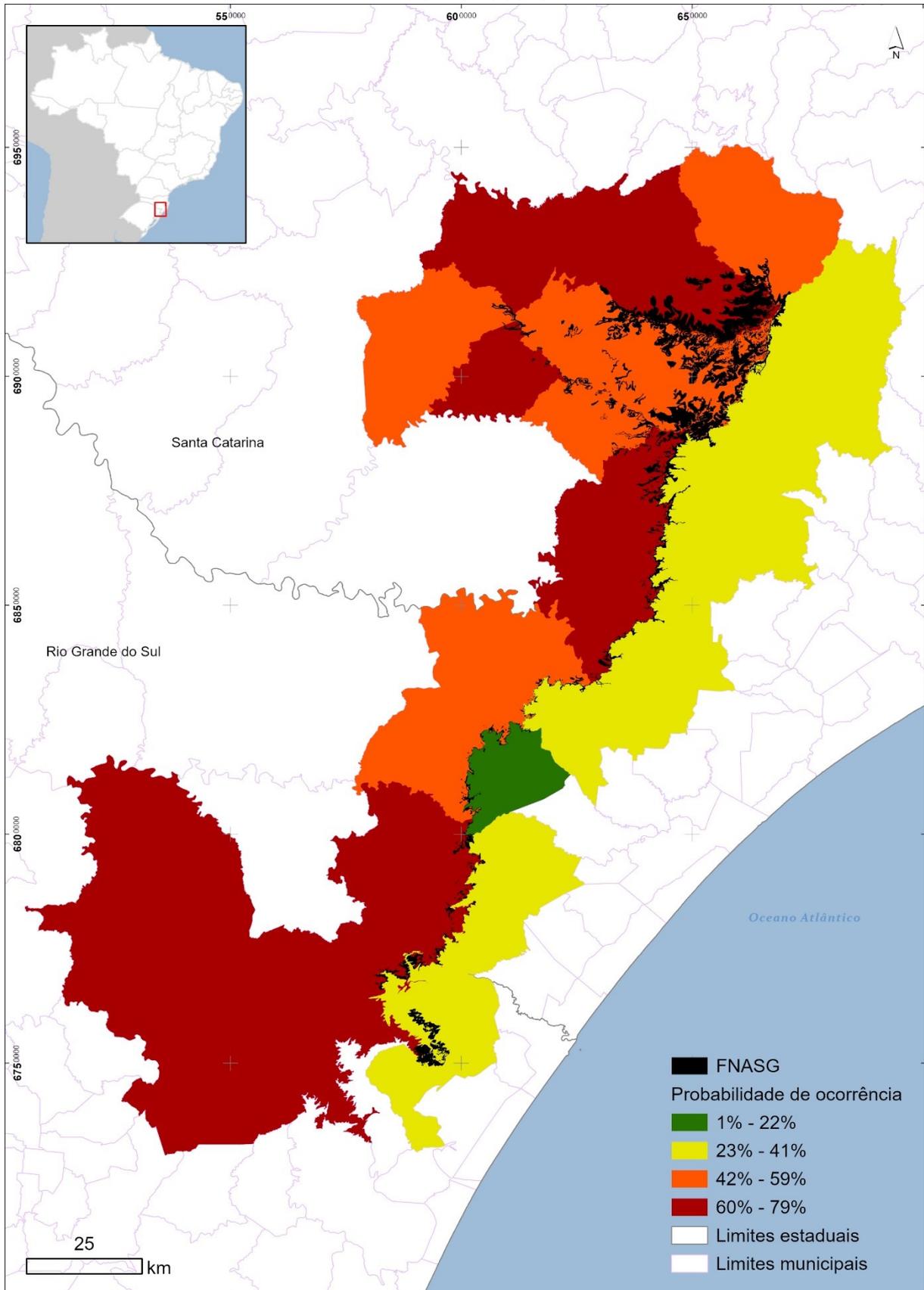
No Brasil, a partir da década de 60, o javali foi introduzido como espécie selvagem, principalmente para consumo de carne e por curiosidade. Desde então, o javali se espalhou pelas regiões Sul e Sudeste do país e, nos últimos anos, também para outras regiões a uma taxa de invasão de 149,6 km² por ano (OLIVEIRA, 2012). Lobo (2022) desenvolveu um conjunto de dados que mostra a probabilidade de ocorrência do javali em todos os municípios do Brasil (Figura 17). Consideramos que

se a probabilidade de ocorrência atingir 100% em todos os municípios do ecossistema das FNASG, há um risco de colapso do ecossistema.

Antes de ocorrer o declínio, em 1750, a espécie do javali ainda não havia sido introduzida no local, portanto a porcentagem de ocorrência era de 0%. Já em 2022, existem municípios em que a probabilidade de ocorrência do javali pode chegar até 79%. Assim, utilizando a probabilidade mais alta encontrada no ambiente, foi feita a computação da gravidade relativa, resultando em uma porcentagem de 79: Gravidade relativa (%) = $(79 \div 100) \times 100$. Quanto à abrangência da degradação, a probabilidade de até 79% da presença do javali no ecossistema representa uma área de 239,76 km², o que equivale a 35,81% da área total. Quase metade do ecossistema (45,83%) tem uma probabilidade de ocorrência do javali entre 42% e 59%. Uma parcela menor, de 16,47%, apresenta uma probabilidade entre 23% e 41%. E apenas 1,89% do ecossistema possui uma probabilidade de ocorrência da espécie menor ou igual a 22% (Figura 18). Isso resulta no ecossistema FNASG sendo classificado como Quase Ameaçado de acordo com o critério D3 (gravidade relativa $\geq 70\%$ em uma extensão $< 50\%$ no declínio histórico).

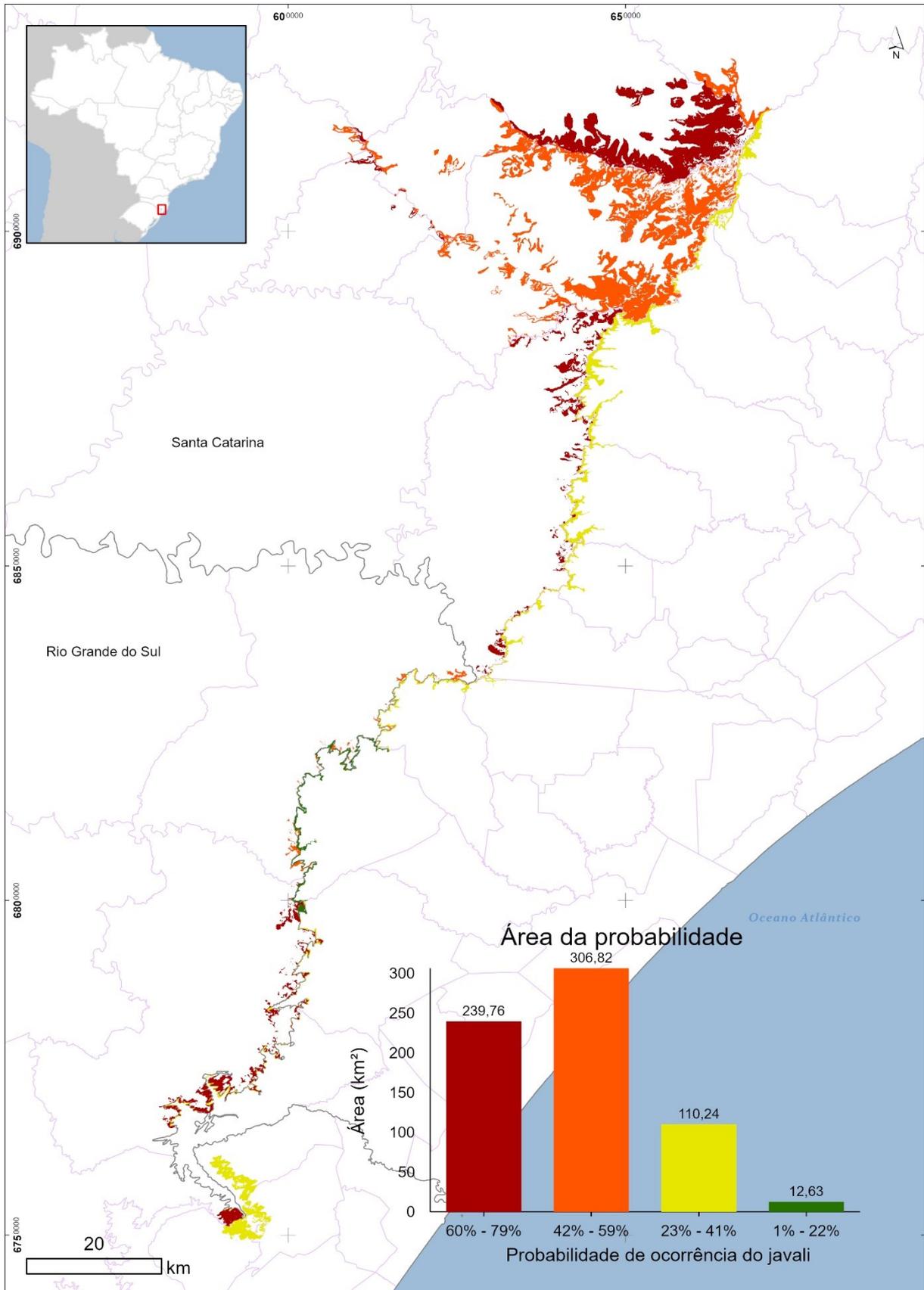
Todavia, é importante destacar que a expansão do javali tem sido rápida e em um curto período de tempo a espécie já está presente em aproximadamente 30% dos municípios brasileiros (LOBO, 2022). Se a presença do javali for negligenciada pelas autoridades e pela população, o ecossistema poderá ser classificado como ameaçado nos próximos anos. Por isso, é fundamental adotar medidas para controlar a população de javalis e minimizar seus impactos negativos nos ecossistemas naturais do Brasil, como campanhas de conscientização e manejo adequado.

Figura 17. Probabilidade de ocorrência do javali nos municípios que abrangem as Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: adaptado de (Lobo, 2022).

Figura 18. Área da probabilidade de ocorrência do javali nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

A presença do gado apresenta uma ameaça adicional ao ecossistema das FNASG devido aos impactos que causa na vegetação, como erosão do solo e contaminação da água por seus resíduos. Além disso, a introdução de gado em ambientes naturais pode resultar na deterioração dos habitats dos animais selvagens e na perda de diversidade biológica, tendo um impacto direto sobre o equilíbrio ecológico (ARAUJO et al., 2010). Mesmo quando o pastoreio ocorre em níveis baixos, o gado influencia indicadores da estrutura dos ecossistemas, como serrapilheira, a abundância de plantas, a cobertura vegetal e a diversidade de animais (ELBRIDGE et al., 2016).

Em média, a atividade de pastoreio bovino tem o potencial de causar uma redução de até 40% na capacidade das plantas de crescerem, bem como uma diminuição de cerca de 10% na variedade de formas de vida, nas funções de regulação da água e no processo de captura de carbono (ELBRIDGE; DELGADO-BAQUERIZO, 2017). Em um estudo conduzido por Davidson et al. (2017), foi resumido como a presença de gado afeta diversos aspectos e benefícios dos ecossistemas, incluindo a riqueza vegetal, os níveis de salinidade e temperatura, a quantidade de carbono no solo, a quantidade de plantas vivas, a altura das plantas, a quantidade de invertebrados e vertebrados, a reciclagem de nutrientes e o controle climático. De modo abrangente, a prática de pastoreio de gado resulta em um declínio considerável em âmbito continental, o que tem como consequência a redução dos serviços ecossistêmicos associados à disponibilidade de habitats, diversidade biológica e funções do solo e da água. (ELBRIDGE; DELGADO-BAQUERIZO, 2017).

Essa presença de gado também afeta significativamente a composição de espécies, especialmente no que diz respeito à vegetação (MIRANDA; MUNIZ, 2009). O pastoreio em áreas onde o gado pasta resulta em uma redução na densidade de árvores e uma diminuição na diversidade de espécies, levando a mudanças na composição das plantas e uma diminuição no número de plantas jovens em relação aos adultos. Além disso, várias espécies de árvores que caracterizam essas florestas têm um crescimento limitado e baixo recrutamento de novas mudas. Esse padrão, por sua vez, compromete a capacidade de regeneração da floresta no futuro (BALL; TZANOPOULOS, 2020).

Em todas as nossas expedições à campo, a grande maioria em Unidades de Conservação (federais, estaduais, municipais e particulares) ou áreas de preservação permanente, quando não encontramos rebanhos no ecossistema, mesmo em UCs, foi observado vestígios de sua presença como trilhas, pegadas e fezes produzidos pelo gado (Figura 19) indicando que esses animais frequentam as FNASG em busca de alimento, água e abrigo contra o sol e chuva.

Durante o período de análise, houve um aumento da quantidade de animais no rebanho bovino dos municípios. Em 1974, havia 361.841 indivíduos, mas esse número saltou para 635.177 em 2021 (Figura 20). Os municípios que possuem os maiores rebanhos são: São Francisco de Paula, São José dos Ausentes e Urubici, com 144.256, 58.911 e 41.000 cabeças de gado, respectivamente (Figura 21). A partir desses dados, foi possível estimar a densidade de gado por hectare nas FNASG (Tabela 6).

A quantidade de animais bovinos que pode ser criada em um hectare de terra varia de acordo com vários fatores, como o modo de cuidado dos animais, a qualidade da área de pastagem, a raça dos animais e as condições climáticas da região. No Brasil, em média, há 1,08 animal bovino por hectare de pastagem, de acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019). Portanto, pela média nacional, consideramos que a densidade média de 1,00 animal bovino por hectare é o limite em que o ecossistema entra em colapso, uma vez que pode ocorrer a conversão de FNASG em pastagens.

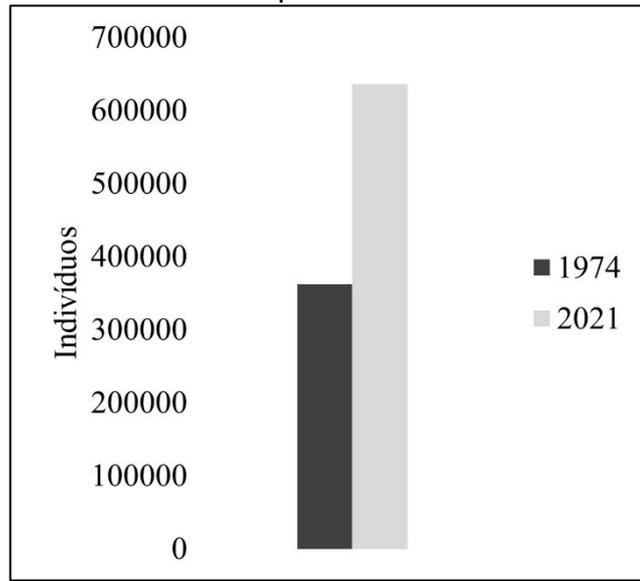
A quantidade de animais bovinos presentes nas FNASG aumentou em 73,86% nos últimos anos. No início da análise, a estimativa era de 14.012 animais no ecossistema, ou seja, 0,21 ind./ha. Essa estimativa aumentou para 24.361 animais, o que equivale a 0,36 ind./ha (Figura 22). Portanto, a gravidade relativa foi calculada como: $(\text{Declínio observado}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (0,21 - 0,36) \div (0,21 - 1,00) \times 100 = 18,99\%$. Como o aumento na densidade de gado afeta todo o ecossistema, assumiu-se que a extensão da ameaça é superior a 80%. Dessa forma, concluiu-se que o ecossistema está Quase Ameaçado de acordo com o critério D1 (gravidade relativa inferior a 30% em uma extensão igual ou superior a 80% nos últimos 50 anos).

Figura 19. Evidências da presença de gado nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. Trilha criada pelo rebanho (a); pegadas de gado (b); fezes de gado (c) e rebanho bovino indo se abrigar da chuva dentro do ecossistema (d).



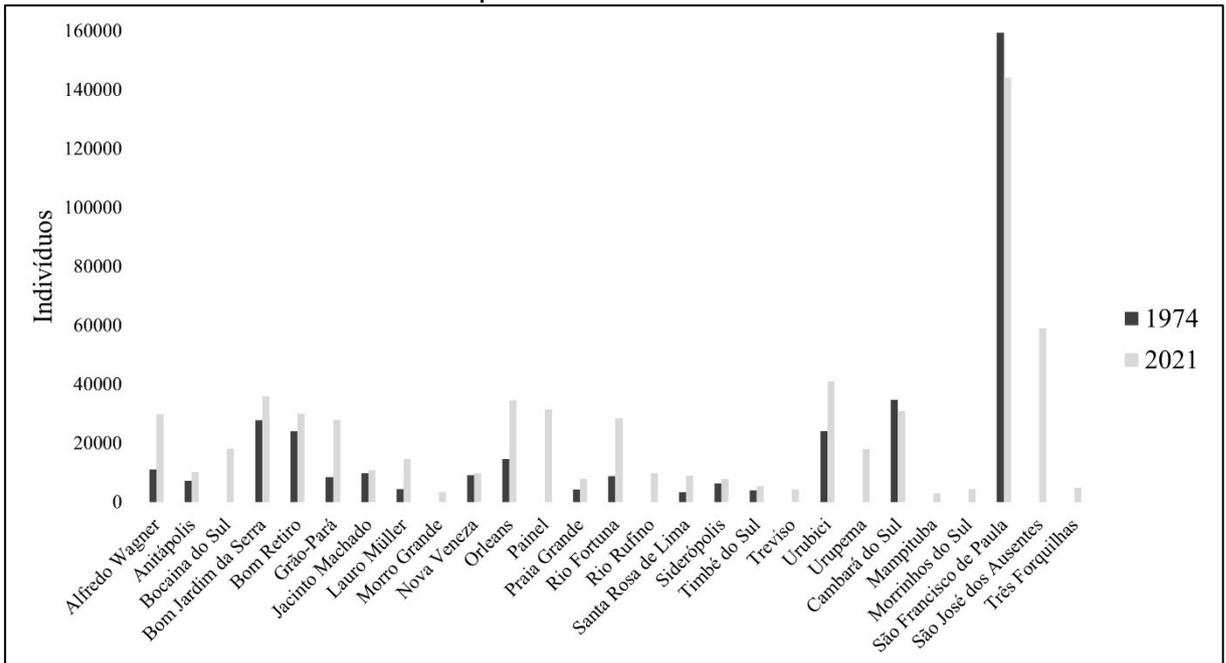
Fonte: MIND.Funga.

Figura 20. Tamanho do rebanho bovino total dos municípios com Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.



Fonte: IBGE, 2022.

Figura 21. Tamanho do rebanho bovino dos municípios com Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.



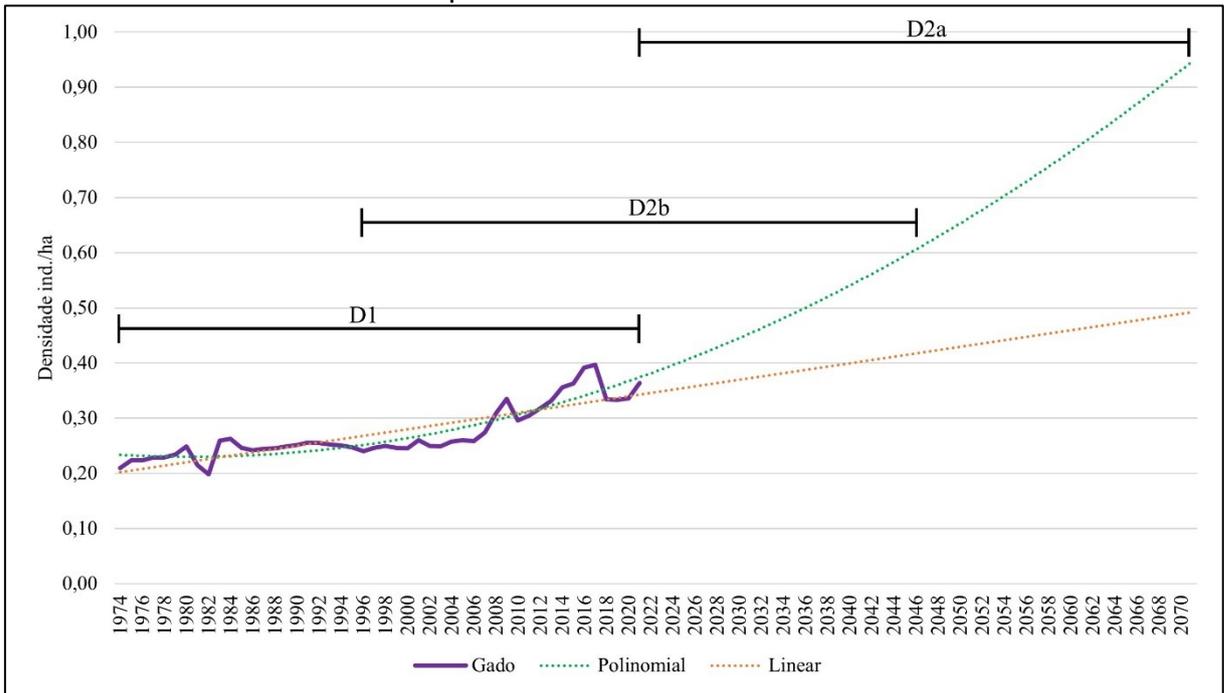
Fonte: IBGE, 2022.

Tabela 6. Estimativa da quantidade de cabeças de gado por municípios nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG) e a densidade de indivíduo por hectare no início e final da avaliação.

Município	Cabeças de gado na FNASG		Densidade de gado na FNASG (ind./ha)	
	1974	2021	1974	2021
Alfredo Wagner	262	704	0,15	0,41
Anitápolis	105	150	0,13	0,19
Bocaina do Sul	0	41	0,00	0,36
Bom Jardim da Serra	1262	1623	0,30	0,38
Bom Retiro	3481	4360	0,23	0,28
Grão-Pará	187	611	0,26	0,84
Jacinto Machado	59	66	0,23	0,25
Lauro Müller	211	691	0,16	0,54
Morro Grande	0	80	0,00	0,13
Nova Veneza	35	38	0,31	0,33
Orleans	606	1429	0,27	0,63
Painel	0	151	0,00	0,43
Praia Grande	71	133	0,15	0,28
Rio Fortuna	84	271	0,29	0,94
Rio Rufino	0	692	0,00	0,35
Santa Rosa de Lima	23	63	0,16	0,44
Siderópolis	140	176	0,24	0,30
Timbé do Sul	152	211	0,12	0,17
Treviso	0	107	0,00	0,28
Urubici	6105	10347	0,24	0,40
Urupema	0	230	0,00	0,51
Cambará do Sul	945	842	0,29	0,26
Mampituba	0	271	0,00	0,19
Morrinhos do Sul	0	147	0,00	0,27
São Francisco de Paula	284	257	0,48	0,44
São José dos Ausentes	0	424	0,00	0,50
Três Forquilhas	0	248	0,00	0,23
Total	14012	24361	0,21	0,36

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 22. Projeção do aumento da densidade de gado nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na avaliação do subcritério D2b, em 1996, a estimativa da densidade de gado no ecossistema era de 0,24 ind./ha. Com base da tendência do aumento da densidade de gado nas FNASG, a estimativa da projeção linear para 2046, completando 50 anos, é de 0,42 ind./ha enquanto a estimativa da projeção polinomial é 0,61 ind./ha (Figura 22). Assim, a gravidade relativa foi calculada para ambas as projeções.

Na projeção linear, a gravidade relativa é: $(\text{Declínio previsto}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (0,24 - 0,42) \div (0,24 - 1,00) \times 100 = 23,29\%$.

Na projeção polinomial, a gravidade relativa é: $(\text{Declínio previsto}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (0,24 - 0,61) \div (0,24 - 1,00) \times 100 = 48,16\%$.

Considerando que a extensão da ameaça ultrapassa 80%, isso indica que as FNASG são classificadas como Quase Ameaçadas no subcritério D2b na projeção linear (gravidade relativa < 30% em uma extensão $\geq 80\%$). No entanto, levando em consideração o subcritério D2b na projeção polinomial, o ecossistema é classificado como Vulnerável (gravidade relativa $\geq 30\%$ e extensão $\geq 80\%$). Assim, o ecossistema de FNASG é classificado como Vulnerável com faixa plausível de Quase Ameaçado – Vulnerável.

O pastoreio intenso no sub-bosque afeta o componente regenerativo das FNASG, causando mudanças nas taxas demográficas para os indivíduos arbóreos

adultos e regenerantes (KILCA; HIGUCHI; SILVA, 2020). Ao longo dos últimos anos, a mortalidade e a perda de área basal têm superado o recrutamento e o ganho de área basal nas FNASGs (STUANI et al., 2021). O déficit do processo biótico de regeneração natural causado pelo gado, se prolongado, o ecossistema pode enfrentar um ponto de inflexão (EVANS et al., 2022).

Por fim, considerando o aumento da densidade de gado no ecossistema, a avaliação do subcritério D2a, que analisa as projeções para os próximos 50 anos, revela que a estimativa da projeção linear para o ano de 2071 é de 0,49 ind./ha enquanto a estimativa da projeção polinomial é de 0,95 ind./ha nas FNASG (Figura 22). Dessa forma, a gravidade relativa foi calculada para ambas as projeções.

Na projeção linear, a gravidade relativa é: $(\text{Declínio previsto}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (0,36 - 0,49) \div (0,36 - 1,00) \times 100 = 20,31\%$.

Na projeção polinomial, a gravidade relativa é: $(\text{Declínio previsto}) \div (\text{Declínio máximo}) \times 100 = (0,36 - 0,95) \div (0,36 - 1,00) \times 100 = 92,19\%$.

Novamente, considerando que a extensão da ameaça ultrapassa 80%, isso indica que as FNASG são classificadas como Quase Ameaçadas no subcritério D2a na projeção linear (gravidade relativa < 30% em uma extensão $\geq 80\%$ nos próximos 50 anos). No entanto, levando em consideração o subcritério D2a na projeção polinomial, o ecossistema é classificado como em Perigo Crítico (gravidade relativa e extensão $\geq 80\%$ nos próximos 50 anos). A faixa de ameaça do ecossistema varia de Quase Ameaçado – Perigo Crítico, sendo que a classificação mais plausível é Em Perigo, considerando as incertezas dos dados (BLAND et al., 2017). Portanto, a FNASG é designada como estado Em Perigo sob o subcritério D2a.

A classificação de Em Perigo destaca a urgência de medidas para preservar e reabilitar o ecossistema, visando evitar que atinja um estado de ameaça mais crítica. É crucial implementar ações de restauração e recuperação nas áreas que já foram impactadas pela criação de gado. É de extrema importância que essas iniciativas considerem especialmente as espécies raras e ameaçadas, que frequentemente tiveram suas populações afetadas (TOLEDO-ACEVES; TRUJILLO-MIRANDA; LÓPEZ-BARRERA, 2021).

3.6. ÁREAS PROTEGIDAS

Dentro das FNASG há 189,19 km² (28,26%) de APP ligadas aos cursos de água, distribuídos em 60,06 km² em nascentes, 127,41 km² de margens dos rios com largura variando de 0 a 10 metros, 1,64 km² de margens dos rios com largura de 10 a 50 metros e 0,08 km² de margens dos rios com largura de 50 a 200 metros. Cobrindo no total uma extensão de 189,19 km², correspondendo a 28,26% de todo o ecossistema (Tabela 7 e Figura 23). Destacando que a extensão legalmente protegida pelas APPs é mais abrangente, uma vez que existem outras categorias de APP amparadas pela Lei N^o 12.651, de 25 de maio de 2012, conhecida popularmente como Lei de Proteção da Vegetação Nativa (BRASIL, 2012). Isso inclui desde regiões com inclinação superior a 45^o, passando pelos topos dos morros e as bordas das chapadas. Contudo, a confirmação da validade dos dados disponíveis para essas APP ainda permanece incerta.

Tabela 7. Áreas e porcentagens protegidas pelas Áreas de Preservação Permanente nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral.

Área de Preservação Permanente	Área (km²)	Porcentagem do ecossistema
Nascente	60,06	8,97
Curso de água (0 – 10m)	127,41	19,03
Curso de água (10 – 50m)	1,64	0,25
Curso de água (50 – 200m)	0,08	0,01
Total	189,19	28,26

Fonte: elaborado pelo autor.

Neste cenário de áreas legalmente preservadas, as UCs presentes no ecossistema são categorizadas em dois grupos: as de Proteção Integral e as de Uso Sustentável. As UCs de Proteção Integral buscam preservar a natureza, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos. Por outro lado, as UCs de Uso Sustentável têm como objetivo conservar a natureza por meio do uso sustentável de parte de seus recursos (BRASIL, 2000)

As UCs de Proteção Integral ocupam uma área de 173,75 km², o que representa 25,95% do ecossistema. Por sua vez, as UCs de Uso Sustentável garantem a preservação de 63,73 km², correspondendo a 9,52% das FNASG. Somando essas duas categorias, a área total protegida por UCs é de 237,48 km², o

que equivale a 35,47% do ecossistema legalmente preservado por essas unidades. (Tabela 8 e

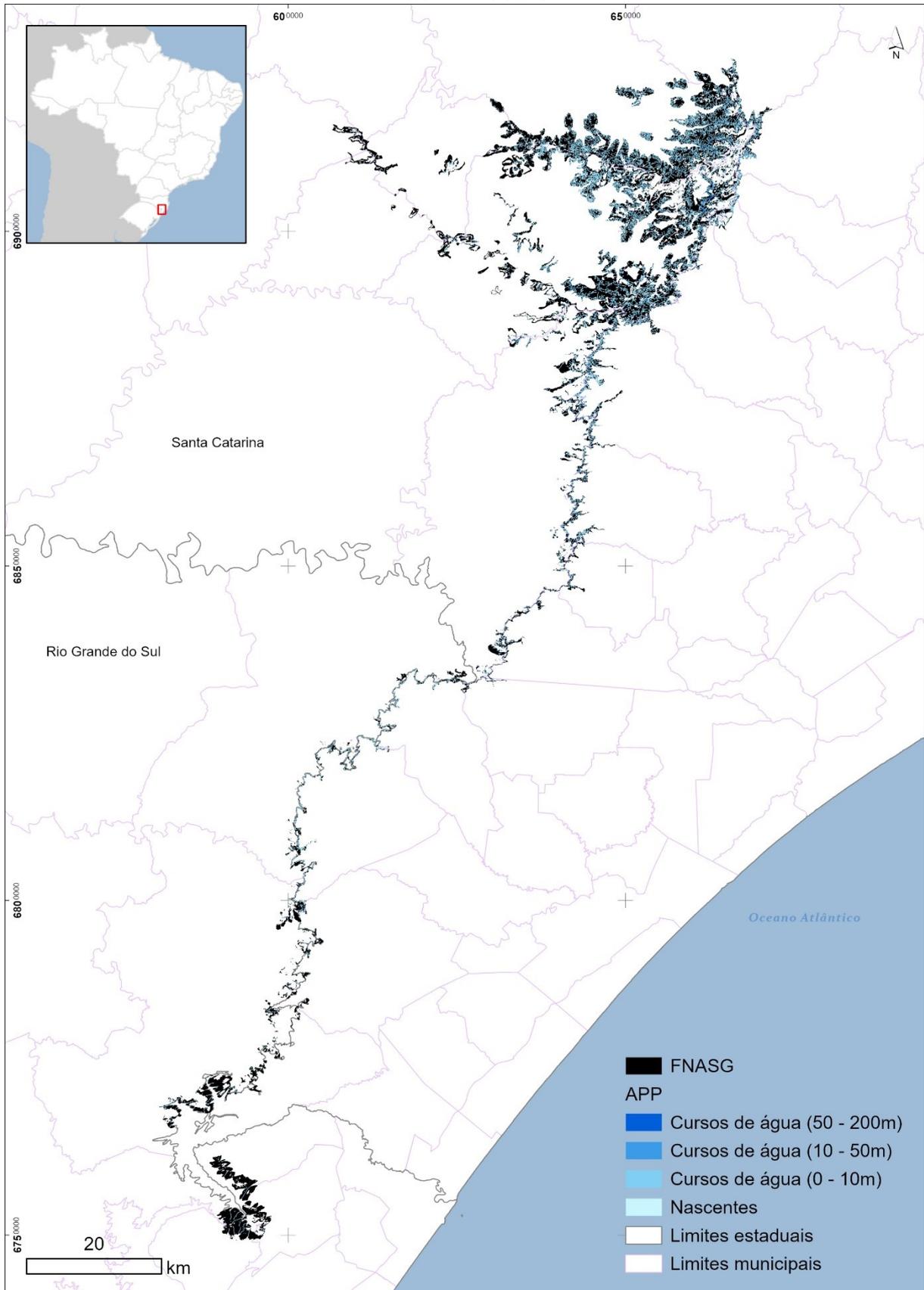
Além disso, as Florestas Nebulares podem ser impactadas indiretamente por fenômenos globais, regionais e locais que alteram o padrão regular de imersão das nuvens. Essas modificações abióticas, como as variações nos limites superiores e inferiores das nuvens, sua espessura, cobertura, frequência e conteúdo de água, bem como as mudanças de temperatura, são fundamentais para manter o ecossistema sustentando sua biota nativa e garantindo a oferta de serviços ecossistêmicos (RAY, 2013).

A compreensão dessas áreas e a sua subsequente proteção são essenciais para uma avaliação abrangente do estado de conservação das FNASG. Isso envolve não apenas a observação das espécies de plantas, animais e fungos presentes, mas também a análise dos processos e interações que ocorrem dentro do ecossistema como um todo, permitindo, assim, identificar ameaças e pressões sobre o ambiente, bem como desenvolver estratégias de manejo mais eficazes.

Figura 24).

Considerando todas as proteções em conjunto, e após a exclusão das sobreposições, o ecossistema registra uma parcela de 362,33 km² (54,12%) de seu território com algum grau de proteção até o ano de 2021. Um importante avanço é observado na preservação da biodiversidade e na manutenção dos serviços ambientais nas FNASG, através da presença das UCs e das APPs. Todavia, apesar desses esforços de preservação, a efetividade dessas medidas e o grau de proteção real enfrentam desafios consideráveis por conta das intervenções humanas que ameaçam a integridade desse ecossistema.

Figura 23. Área de Preservação Permanente (APP) de nascentes e rios nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8. Áreas e porcentagens do ecossistema protegidas pelas Unidade de Conservação (UC) nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. PARNA: Parque Nacional; PE: Parque Estadual; REBIO: Reserva Biológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural.

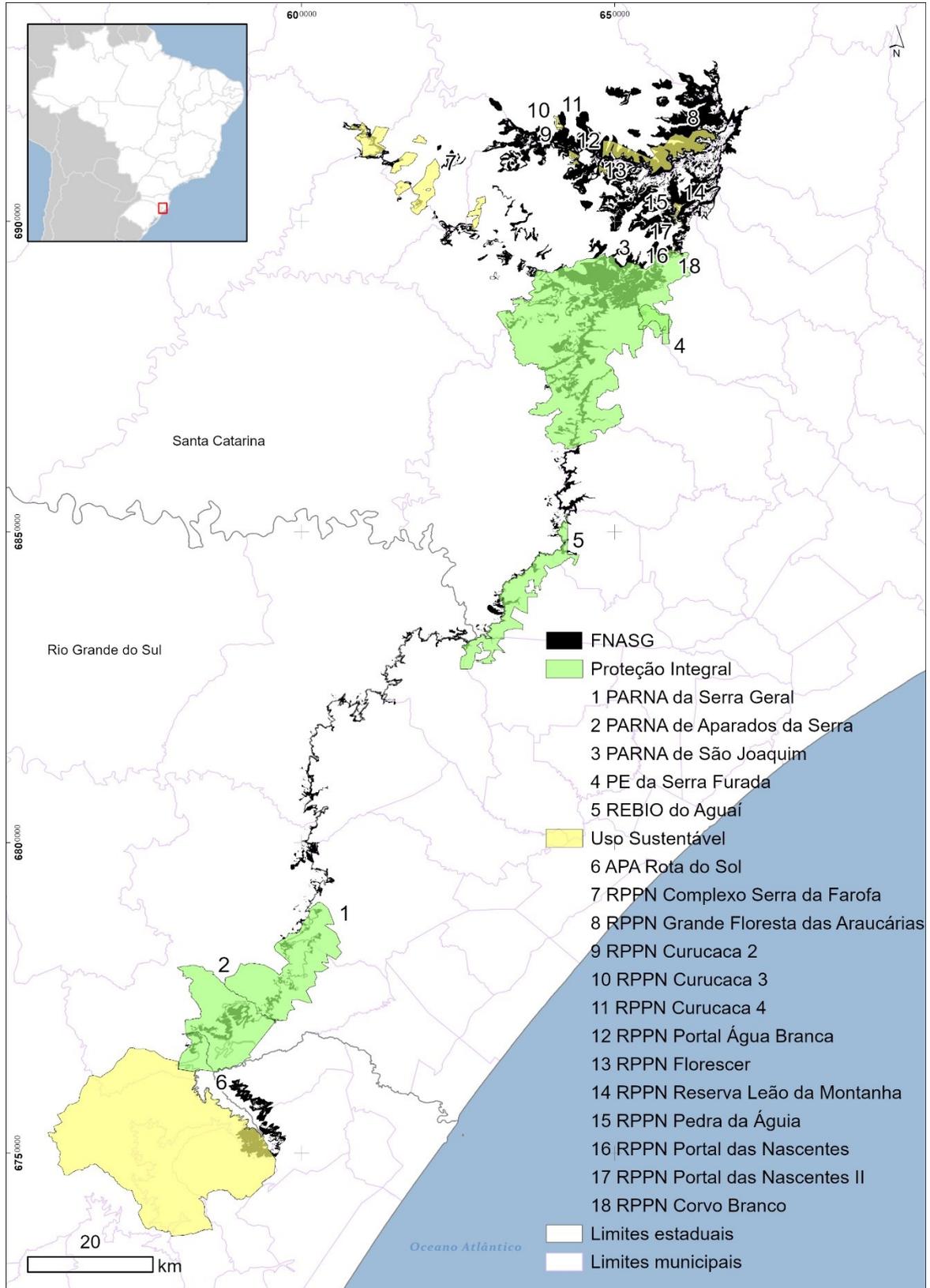
UCs de Proteção Integral	Área (km²)	Porcentagem do ecossistema
PARNA da Serra Geral	14,00	2,09
PARNA de Aparados da Serra	15,03	2,24
PARNA de São Joaquim	133,41	19,93
PE da Serra Furada	0,86	0,13
REBIO do Aguai	10,45	1,56
UCs de Uso Sustentável		
APA Rota do Sol	15,25	2,28
RPPN Complexo Serra da Farofa	6,20	0,93
RPPN Grande Floresta das Araucárias	36,86	5,51
RPPN Curucaca 2	0,03	0,004
RPPN Curucaca 3	0,16	0,02
RPPN Curucaca 4	0,27	0,04
RPPN Portal Água Branca	1,54	0,23
RPPN Florescer	1,52	0,23
RPPN Reserva Leão da Montanha	0,97	0,14
RPPN Pedra da Água	0,66	0,10
RPPN Portal das Nascentes	0,16	0,02
RPPN Portal das Nascentes II	0,04	0,01
RPPN Corvo Branco	0,07	0,01
Total	237,48	35,47

Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, as Florestas Nebulares podem ser impactadas indiretamente por fenômenos globais, regionais e locais que alteram o padrão regular de imersão das nuvens. Essas modificações abióticas, como as variações nos limites superiores e inferiores das nuvens, sua espessura, cobertura, frequência e conteúdo de água, bem como as mudanças de temperatura, são fundamentais para manter o ecossistema sustentando sua biota nativa e garantindo a oferta de serviços ecossistêmicos (RAY, 2013).

A compreensão dessas áreas e a sua subsequente proteção são essenciais para uma avaliação abrangente do estado de conservação das FNASG. Isso envolve não apenas a observação das espécies de plantas, animais e fungos presentes, mas também a análise dos processos e interações que ocorrem dentro do ecossistema como um todo, permitindo, assim, identificar ameaças e pressões sobre o ambiente, bem como desenvolver estratégias de manejo mais eficazes.

Figura 24. Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável nas Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral (FNASG). PARNA: Parque Nacional; PE: Parque Estadual; REBIO: Reserva Biológica; APA: Área de Proteção Ambiental; RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural. Sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 22S.



Fonte: elaborado pelo autor.

A preservação bem-sucedida das FNASG requer não somente medidas regulatórias, mas também um engajamento coletivo. Iniciativas educativas e parcerias com as comunidades locais têm o potencial de sensibilizar as pessoas quanto à importância crucial da preservação dessas áreas únicas (CARVALHO et al., 2015).

4. CONCLUSÃO

As FNASG representam um ecossistema único e frágil, repleto de biodiversidade e beleza incomparáveis. No entanto, nos últimos anos, esse ambiente tem enfrentado uma série de ameaças devido à crescente presença de gado e de javali em suas áreas, resultando em um perigo à sua integridade ecológica, além da produção de *Pinus ssp.* e *Eucalyptus spp.* e as constantes queimadas das quais os dados são insuficientes para serem incluídos na avaliação da LVE, mas é evidente que causam danos às características bióticas e abióticas do ecossistema.

Nos últimos anos, houve escassas alterações geográficas, e uma parcela superior a 50% do ecossistema está sob proteção legal. Essa aparente estabilidade pode induzir à falsa percepção de que o ecossistema está em boas condições e intocado. No entanto, a verdade é que sua reduzida extensão e particular condição derivada da posição latitudinal e altitudinal o coloca em situação de ameaça. Adicionalmente, o aumento das temperaturas e diminuição da precipitação na região pode acarretar consequências significativas para o ecossistema. O clima mais quente pode impactar os ciclos naturais e a dinâmica das espécies que habitam esse ecossistema, ao passo que mudanças na quantidade e distribuição das chuvas podem alterar a disponibilidade de água e nutrientes essenciais para a vida das criaturas que ali vivem.

Outro fator preocupante é a crescente presença do gado na região do ecossistema. O gado, introduzido nessas florestas por meio da pecuária e da expansão da atividade agropecuária, tem se mostrado altamente prejudicial para o equilíbrio ambiental do ecossistema. O pastejo excessivo causa a degradação do solo e a compactação do terreno, o que afeta diretamente a estrutura e a fertilidade do solo, comprometendo a regeneração natural das espécies vegetais. Além disso, o pisoteio constante reduz a cobertura vegetal e contribui para a erosão do solo, aumentando o risco de deslizamentos de terra e enchentes em áreas adjacentes.

A presença de gado também traz consigo outro efeito danoso, que é a degradação da vegetação nativa. As FNASG acolhem uma diversidade de espécies de plantas, animais e fungos adaptados a um ambiente específico, e a introdução de gado representa uma ameaça direta à sobrevivência desses seres. O excesso do pastoreio resulta na supressão do crescimento de novas plantas e no consumo de espécies essenciais para a alimentação e proteção dos animais locais.

Com base nas informações e nos critérios analisados, as FNASG enfrentam sérias ameaças devido à sua distribuição geográfica restrita, o que as coloca nas categorias Em Perigo e Vulnerável, de acordo com os subcritérios B1 e B2, respectivamente. Adicionalmente, a previsão de um contínuo aumento na densidade de gado nos próximos 50 anos, conforme indicado pelo subcritério D2a, resulta na classificação do ecossistema na categoria de Em Perigo. Em conformidade com o princípio da precaução, a condição geral do ecossistema é classificada com o mais alto nível de risco de toda a avaliação, indicando que as FNASG são classificadas como Em Perigo tanto no subcritério B1 quanto no D2a (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da avaliação das Florestas Nebulares dos Aparados da Serra Geral. DD: Dados Insuficientes; LC: Menos Preocupante; NT: Quase Ameaçado; VU: Vulnerável; EN: Em Perigo; CR: Perigo Crítico.

Critério	A	B	C	D	E	Geral
Subcritério 1	DD	EN	VU (NT-VU)	NT	DD	
Subcritério 2	LC	VU	DD	EN (NT-CR)		EN
Subcritério 3	DD	DD	DD	NT		

O ecossistema enfrenta diversas ameaças que, ao longo do tempo, podem causar efeitos devastadores de forma cumulativa. Diante dessa situação preocupante, é imprescindível tomar medidas imediatas e eficazes para a preservação das FNASG.

É fundamental realizar um acompanhamento constante para avaliar a resposta da FNASG diante das mudanças climáticas. Esse monitoramento visa identificar os pontos mais suscetíveis, compreender o impacto sobre o ciclo hidrológico e analisar de que maneira o ecossistema manterá a provisão de serviços ecossistêmicos em condições desfavoráveis. O monitoramento não apenas fornece informações valiosas sobre as respostas imediatas das FNASG, mas também permite uma abordagem proativa na adaptação e na formulação de estratégias de conservação para garantir a sustentabilidade do ecossistema frente aos desafios climáticos em evolução.

É imprescindível estabelecer políticas e regulamentações que restrinjam a expansão da atividade pecuária na FNASG. A restauração ecológica das áreas degradadas se mostra como um passo fundamental para recuperar o equilíbrio ambiental e promover a regeneração natural do ecossistema.

A educação ambiental e a conscientização pública são elementos fundamentais nesse contexto. É essencial engajar as comunidades locais, os proprietários de terras

e os gestores públicos em iniciativas de preservação e conservação das FNASG. Ao conscientizar sobre a importância desses ecossistemas e os efeitos negativos da presença de gado e das mudanças climáticas, podemos alcançar uma maior adesão a práticas sustentáveis e a busca por alternativas econômicas viáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente.

Por último, é crucial ressaltar a relevância da colaboração entre diversos setores da sociedade, incluindo governos, organizações não governamentais, cientistas e cidadãos, para enfrentar o desafio de proteger esse ecossistema. Por meio de esforços coletivos e um compromisso com a conservação ambiental poderemos assegurar a preservação desse tesouro natural tanto para as gerações atuais quanto para as futuras. Agir imediatamente é de extrema importância para garantir que as próximas gerações possam desfrutar da riqueza e beleza dessas florestas singulares, além de manter a vitalidade e a resiliência do nosso planeta como um todo.

REFERÊNCIAS

- ALANIZ, A. J.; GALLEGUILLOS, M.; PEREZ-QUEZADA, J. F. Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: the case of the central Chile hotspot. **Biological Conservation**, v.204, p.378-385, 2016.
- ALANIZ, A. J.; QUEZADA, J. F. P.; GALLEGUILLOS, M.; VÁSQUEZ, A. E.; KEITH, D. A. Operationalizing the IUCN Red List of Ecosystems in public policy. **Conservation Letters**, v.12, n.5, e12665, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ARAUJO, M. L. M. N.; REINALDO, L. R. L. R.; SOUSA, J. S.; ALMEIDA, P. G.; ALVES, L. S.; WANDERLEY, J. A. C. Impactos ambientais nas margens do Rio Piancó causados pela agropecuária. **Revista Brasileira de Gestão Ambienta**, v.4, n.1, p.13-33, 2010.
- ARROYO-RODRIGUES, V.; SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A.; FAHRIG, L.; SANTOS, B. A. Does forest fragmentation cause an increase in forest temperature?. **Ecological research**, v.32, p.81-88, 2017.
- AU, J.; BLOOM, A. A.; PARAZOO, N. C.; DEANS, R. M.; WONG, C. Y. S.; HOULTON, B. Z.; MAGNEY, T. S. Forest productivity recovery or collapse? Model-data integration insights on drought-induced tipping points. **Global Change Biology**, v.29, n.19, p.5652-5665, 2023.
- AULD, T. D.; LEISHMAN, M. R. Ecosystem risk assessment for Gnarled Mossy Cloud Forest, Lord Howe Island, Australia. **Austral Ecology**, v.40, n.4, p.364-372, 2015.
- BALL, L.; TZANOPOULOS, J. Livestock browsing affects the species composition and structure of cloud forest in the Dhofar Mountains of Oman. **Applied Vegetation Science**, v.23, n.3, p.363-376, 2020.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v.15, n.4, p.365-377, 2012.
- BERTONCELLO, R.; YAMAMOTO, K.; MEIRELES, L. D.; SHEPHERD, G. J. A phytogeographic analysis of cloud forests and other forest subtypes amidst the Atlantic forests in south and southeast Brazil. **Biodiversity and conservation**, v.20, p.3413-3433, 2011.
- BLAND, L. M.; KEITH, D. A.; MILLER, R. M.; MURRAY, N. J.; RODRÍGUEZ, J. P. **Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria, Version 1.1**. IUCN, Gland, Switzerland, 2017.

BOEHMER, H. J. Vulnerability of tropical montane rain forest ecosystems due to climate change. In: BRAUCH, H. G.; SPRING, U. O.; MESJASZ, C.; GRIN, J.; KAMERI-MBOTE, P.; CHOUROU, B.; DUNAY, P.; BIRKMANN, J. (Eds.). **Coping with global environmental change, disasters and security: threads, challenges, vulnerabilities and risks**. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p.789-802.

BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012.

BRUIJNZEEL, L. A.; KAPPELLE, M.; MULLIGAN, M.; SCATENA, F. N. Tropical montane cloud forest: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. In: BRUIJNZEEL L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Eds.). **Tropical montane cloud forest: science for conservation and management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p.691-740.

CARVALHO, N. L.; KERSTING, C.; ROSA, G.; FRUET, L.; BARCELLOS, A. L. Desenvolvimento sustentável x desenvolvimento econômico. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.3, p.109-117, 2015.

CUEVAS, M. F.; MASTRANTONIO, L.; OJEDA, R. A.; JAKSIC, F. M. Effects of wild boar disturbance on vegetation and soil properties in the Monte Desert, Argentina. **Mammalian Biology**, v.77, p.299–306, 2012.

DAVIDSON, K. E.; FOWLER, M. S.; SKOV, M. W.; DOERR, S. H.; BEAUMONT, N.; GRIFFIN, J. N. Livestock grazing alters multiple ecosystem properties and services in salt marshes: A meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, v.54, n.5, p.1395-1405, 2017.

DOUMENGE, C.; GILMOUR, D.; PÉREZ, M. R.; BLOCKHUS, J. Tropical montane cloud forest: conservation status and management issues. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Eds.). **Tropical montane cloud forests: Proceedings of an international symposium**. New York: Springer-Verlag, 1995. p.24-37.

DRECHSLER-SANTOS, E.R.; ALVES-SILVA, G.; KOSSMANN, T. BITTENCOURT, F.; DA CUNHA, K.M. **Fomitiporia nubicola**. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020.

ELDRIDGE, D. J.; POORE, A. G.; RUIZ-COLMENERO, M.; LETNIC, M.; SOLIVERES, S. Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing. **Ecological Applications**, v.26, n.4, p.1273-1283, 2016.

ELDRIDGE, D. J.; DELGADO-BAQUERIZO, M. Continental-scale impacts of livestock grazing on ecosystem supporting and regulating services. **Land Degradation & Development**, v.28, n.4, p.1473-1481, 2017.

ELLER, C. B.; MEIRELES, L. D.; SITCH, S.; BURGESS, S. S.; OLIVEIRA, R. S. How climate shapes the functioning of tropical montane cloud forests. **Current Forestry Reports**, v.6, p.97-114, 2020.

ETTER, A.; ANDRADE, A.; AMAYA, P.; ARÉVALO, P. **Estado de los ecosistemas colombianos-2014**: una aplicación de la metodología de Lista Roja de Ecosistemas. Bogotá: IUCN, 2015.

EVANS, J.; MCCARTHY-NEUMANN, S.; PRITCHARD, A.; CARTWRIGHT, J.; WOLFE, B. A forested wetland at a climate-induced tipping-point: 17-year demographic evidence of widespread tree recruitment failure. **Forest Ecology and Management**, v.517, 120247, 2022.

FAHRIG, L. Ecological responses to habitat fragmentation per se. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v.48, p.1-23, 2017.

FALKENBERG, D. B. **Matinhas nebulares e vegetação rupícola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), sul do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FALKENBERG, D. B.; VOLTOLINI, J. C. 1995. The montane cloud forest in southern Brazil. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Eds.). **Tropical montane cloud forests: Proceedings of an international symposium**. New York: Springer-Verlag, 1995. p.138-149.

FERRER-PARIS, J. R.; ZAGER, I.; KEITH, D. A.; OLIVEIRA-MIRANDA, M. A.; RODRÍGUEZ, J. P.; JOSSE, C.; GONZÁLEZ-GIL, M.; MILLER, R. M.; ZAMBRANA-TORRELIO, C.; BARROW, E. An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies. **Conservation Letters**, v.12, n.2, e12623, 2019.

FOSTER, P. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. **Earth-Science Reviews**, v.55, n.1-2, p.73-106, 2001.

GRADSTEIN, S. R.; CHURCHILL, S. P.; SALAZAR-ALLEN, N. **Guide to the Bryophytes of Tropical America**. New York: New York Botanical Garden, 2001.

HARPER, K. A.; MACDONALD, S. E.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K. D.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D.; JAITEH, M. S.; ESSEEN P. A. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation biology**, v.19, n.3, p.768-782, 2005.

HASSEMER, G.; FERREIRA, P. M. A.; TREVISAN, R. A review of vascular plant endemisms in Santa Catarina, southern Brazil, highlights critical knowledge gaps and urgent need of conservation efforts. **Journal of the Torrey Botanical Society**, v.142 p.78-95, 2015.

HELMER, E. H.; GERSON, E. A.; BAGGETT, L. S.; BIRD, B. J.; RUZYCKI, T. S.; VOGGESSER, S. M. Neotropical cloud forests and páramo to contract and dry from declines in cloud immersion and frost. **PloS one**, v.14, n.4, e0213155, 2019.

HOFMEISTER, J.; HOŠEK, J.; BRABEC, M.; STŘALKOVÁ, R.; MÝLOVÁ, P.; BOUDA M.; PETIT, J. L.; RYDVAL, M.; SVOBODA, M. Microclimate edge effect in small fragments of temperate forests in the context of climate change. **Forest Ecology and Management**, v.448, p.48-56, 2019.

HU, J.; RIVEROS-IREGUI, D. A. Life in the clouds: are tropical montane cloud forests responding to changes in climate?. **Oecologia**, v.180: 1061-1073, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa da vegetação do Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de solos do Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**: volume 1. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

KARGER, D. N.; KESSLER, M.; LEHNERT, M.; JETZ, W. Limited protection and ongoing loss of tropical cloud forest biodiversity and ecosystems worldwide. **Nature Ecology & Evolution**, v.5, p.854-862, 2021.

KEITH, D. A. Assessing and managing risks to ecosystem biodiversity. **Austral Ecology**, v.40, n.4, p.337-346, 2015.

KEITH, D. A.; RODRÍGUEZ, J. P.; CLARK, K. M. R.; NICHOLSON, E.; AAPALA, K.; ALONSO, A.; ASMUSSEN, M.; BACHMAN, S.; BASSET, A.; BARROW, E. G.; BENSON, J. S.; BISHOP, M. J.; BONIFACIO, R.; BROOKS, T. M.; BURGMAN, M. A.; COMER, P.; COMÍN, F. A.; ESSL, F.; LANGENDOEN, D. F.; FAIRWEATHER, P. G.; HOLDAWAY R. J.; JENNINGS, M.; KINGSFORD, R. T.; LESTER, R. E.; NALLY, R. M.; MCCARTHY, M. A.; MOAT, J.; MIRANDA, M. A. O.; PISANU, P.; POULIN, B.; REGAN, T. J.; RIECKEN, U.; SPALDING, M. D.; MARTÍNEZ, S. Z. Scientific foundations for an IUCN Red List of Ecosystems, **PLOS one**, v.8, n.5, e62111, 2013.

KILCA, R. V.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. Impacto do pastoreio bovino em florestas nebulares no Parque Nacional de São Joaquim, Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v.30, p.1-17, 2020.

KUHAR, F.; FURCI, G.; DRECHSLER-SANTOS, E. R.; PFISTER, D. H. Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). **IMA Fungus**, v.9, n.2, p.A71-A74, 2018.

LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E.; LAURANCE, S. G.; ANDRADE, A.; EWERS, R. M.; HARMS, K. E.; LUIZÃO, R. C. C.; RIBEIRO, J. E. Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis. **PLoS one**, v.2, n.10, e1017, 2007.

LAURENCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURENCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, G. B.; MALVIDO, J. B.; VASCONCELOS, H. L.; VAN HOUTAN, K. S.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v.144, p.56-67, 2011.

LOBO, G. D. **O javali (*Sus scrofa*) no Brasil: controle, prevenção e impactos econômicos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

LOOBY, C. I.; TRESEDER, K. K. Shifts in soil fungi and extracellular enzyme activity with simulated climate change in a tropical montane cloud forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v.117, p.87-96, 2018.

LOOBY, C. I.; MALTZ, M. R.; TRESEDER, K. K. Belowground responses to elevation in a changing cloud forest. **Ecology and evolution**, v.6, p.1996-2009. 2016.

LOS, S. O.; STREET-PERROTT, F. A.; LOADER, N. J.; FROYD, C. A.; CUNÍ-SANCHEZ, A.; MARCHANT, R. A. Sensitivity of a tropical montane cloud forest to climate change, present, past and future: Mt. Marsabit, N. Kenya. **Quaternary Science Reviews**, v.218, p.34-48, 2019.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.

MIRANDA, M. C. P. C.; MUNIZ, F. H. Impacto do gado bovino sobre os ecossistemas do Parque Estadual do Mirador-PEM. **Pesquisa em Foco**, v.17, p.31-42, 2009.

MITCHELL, M. G.; BENNETT, E. M.; GONZALEZ, A. Forest fragments modulate the provision of multiple ecosystem services. **Journal of Applied Ecology**, v.51, n.4, p.909-918, 2014.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology & evolution**, v.10, n.2, p.58-62, 1995.

MURRAY, N. J.; KEITH, D. A.; TIZARD, R.; DUNCAN, A.; HTUT, W. T.; HLAING, N.; OO, A. H.; YA, K. Z.; GRANTHAM, H. **Threatened ecosystems of Myanmar: an IUCN red list of ecosystems assessment**. Wildlife Conservation Society, 2020.

NADKARNI, N. M. 2010. Potential effects of global climate change on epiphytes in a tropical montane cloud forest: an experimental study from Monteverde, Costa Rica. In: BRUIJNZEEL L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Eds.). **Tropical montane**

cloud forest: science for conservation and management. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p.557-565.

NUNES, G. M.; CUNHA, C. N. **Red List of Ecosystems:** regional case studies in Brazil - Pantanal. Brasília: IUCN, 2015.

OLIVEIRA, C. H. S. **Ecologia e manejo de javali (*Sus scrofa*) na América do Sul.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OLMO-RUIZ, M. D.; GARCÍA-SANDOVAL, R.; ALCÁNTARA-AYALA, O.; VÉLIZ, M.; LUNA-VEGA, I. Current knowledge of fungi from Neotropical montane cloud forests: distributional patterns and composition. **Biodiversity and Conservation**, v.26, p.1919-1942, 2017.

PENDERGRASS, A. G.; KNUTTI, R.; LEHNER, F.; DESER, C.; SANDERSON, B. M. Precipitation variability increases in a warmer climate. **Scientific Reports**, v.7, p.17966, 2017.

PLANO JAVALI. **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do javali (*sus scrofa*) no Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017.

PONCE-REYES, R.; NICHOLSON, E.; BAXTER, P. W. J.; FULLER, R. A.; POSSINGHAM, H. Extinction risk in cloud forest fragments under climate change and habitat loss. **Diversity and distributions**, v.19, n.5-6, p.518-529, 2013.

RAMÍRZ, B. H.; MELSEN, L. A.; GANZVELD, L.; LEEMANS, R.; TEULING, A. J. Tropical Montane Cloud Forests in the Orinoco River basin: Inferring fog interception from through-fall dynamics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.260, p.17-30, 2018.

RAY, D. K. Tropical Montane Cloud Forests. In: PIELKE, R. A. (Ed.). **Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources.** Boulder: Academic Press, 2013. p.79-85.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The brazilian atlantic forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1141-1153, 2009.

SALA, O. E.; CHAPIN III, F. S.; ARMESTO, J. J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L. F.; JACKSON, R. B.; KINZIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D. M.; MOONEY, H. A.; OESTERHELD, M.; POFF, N. L.; SYKES, M. T.; WALKER, B. H.; WALKER, M.; WALL, D. H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v.287, n.5459, p.1770-1774, 2000.

SANTOS, M. D. F. M. D.; PELLANDA, M.; TOMAZZONI, A. C.; HASENACK, H.; HARTZ, S. M. Mamíferos carnívoros e sua relação com a diversidade de habitats no Parque Nacional dos Aparados da Serra, sul do Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v.94, p.235-245, 2004.

SARMIENTO, F. O.; KOOPERMAN, G. J. A socio-hydrological perspective on recent and future precipitation changes over tropical montane cloud forests in the Andes. **Frontiers in Earth Science**, v.7, p.324, 2019.

SCATENA, F. N.; BRUIJNZEEL, L. A.; BUDD, P.; DAS, S. Setting the stage. In: BRUIJNZEEL L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Eds.). **Tropical montane cloud forest: science for conservation and management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p.3-13.

SCHERER, M.; SILVA, T.; MARTINS, E.; VERON, E.; CONDE, D.; SOUZA, V.; MARQUES, C.; SILVEIRA, V.; BRENTANO, T.; FARINA, F.; NICOLODI, J.; ALLEGA, L.; ASMUS, M.; GRUBER, N.; ALMEIDA, F.; CAMIOLO, M. **Sand Dunes system of Southern South America**: red list of ecosystems assessment. IUCN Red List of Ecosystems, 2020.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2021-2022 relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2023.

STADTMILLER, T. **Los bosques nublados en el trópico húmedo**: una revisión bibliográfica. Turrialba: Univesidad de las Naciones Unidas, 1987.

STUANI, G. R.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; LARSEN, J. G.; MACHADO, F. D.; SANTOS, G. N. Impacto antrópico na dinâmica de uma floresta Nebular do planalto catarinense. **Ciência Florestal**, v.31, p.1714-1732, 2021.

SÜHS, R.B. **Crinodendron brasiliense**. The IUCN Red List of Threatened Species. 2018.

TAUBERT, F.; FISCHER, R.; GROENEVELD, J.; LEHMANN, S.; MÜLLER, M. S.; RÖDIG, E.; WIEGAND, T.; HUTH, A. Global patterns of tropical forest fragmentation. **Nature**, v.554, n.7693 p.519-522, 2018.

TISDELL, C. A. **Wild pigs**: environmental pest or economic resource?. Elsevier, 2013.

TOLEDO-ACEVES, T.; TRUJILLO-MIRANDA, A. L.; LÓPEZ-BARRERA, F. Tree regeneration in active and passive cloud forest restoration: Functional groups and timber species. **Forest Ecology and Management**, v.489, p.119050, 2021.

UHLMANN, A.; GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C. Grupos florísticos estruturais da floresta ombrófila mista em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. (Eds.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina volume III**: floresta ombrófila mista. Blumenau: Edifurb, 2013. p.145-153.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina volume III**: floresta ombrófila mista. Blumenau: Edifurb, 2013.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; UHLMANN, A.; SCHORN, L. A.; SOBRAL, M. G.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V.; BROGNI, E.; KLEMZ, G.; GODOY, M. B.; VERDI, M. Structure of mixed ombrophyllous forest with *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) under external stress in Southern Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v.59, n.3, p.1371-1387, 2011.

WALTHER, G. R. Community and ecosystem responses to recent climate change. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.365, n. 1549, p.2019-2024, 2010.

APÊNDICE A - Critérios da Lista Vermelha de Ecossistemas

As informações a seguir foram retiradas das diretrizes para a aplicação da Lista Vermelha de Ecossistemas Categorias e Critérios da IUCN (Bland et al., 2017).

Critério A: Redução na distribuição geográfica em qualquer um dos seguintes períodos de tempo:

	A1. Últimos 50 anos	A2a. Próximos 50 anos	A2b. Qualquer período de 50 anos, incluindo o passado, presente e futuro	A3. Desde 1750
CR	≥ 80%	≥ 80%	≥ 80%	≥ 90%
EN	≥ 50%	≥ 50%	≥ 50%	≥ 70%
VU	≥ 30%	≥ 30%	≥ 30%	≥ 50%

Critério B: Distribuição geográfica restrita indicada por qualquer um de B1, B2 ou B3:

B1. A extensão de um polígono convexo mínimo envolvendo todas as ocorrências (extensão da ocorrência, EOO) não é maior que:

CR	2.000 km ²	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em 1 local definido de ameaça.</p>
-----------	-----------------------	--------------------------------------	---

EN	20.000 km ²	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em ≤ 5 locais definidos de ameaças.</p>
VU	50.000 km ²	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em ≤ 10 locais definidos de ameaças.</p>

B2. O número de quadrículos de 10 × 10 km ocupadas (área de ocupação, AOO) não é maior que:

CR	2	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em 1 local definido de ameaça.</p>
EN	20	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade</p>

			<p>ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em ≤ 5 locais definidos de ameaças.</p>
VU	50	E pelo menos um dos seguintes (a-c):	<p>(a) Um declínio contínuo observado ou inferido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. uma medida de extensão espacial apropriada ao ecossistema; ou ii. uma medida de qualidade ambiental apropriada à biota característica do ecossistema; ou iii. uma medida de interrupção das interações bióticas apropriadas para a biota característica do ecossistema. <p>(b) Processos ameaçadores observados ou inferidos que provavelmente causarão declínios contínuos na distribuição geográfica, qualidade ambiental ou interações bióticas nos próximos 20 anos.</p> <p>(c) O ecossistema existe em ≤ 10 locais definidos de ameaças.</p>

B3. O número de locais definidos de ameaças é:

VU	Muito pequeno (geralmente menos de 5 locais definidos de ameaças) e sujeito aos efeitos de atividades humanas ou eventos estocásticos em um período de tempo muito curto em um futuro incerto e, portanto, capaz de entrar em colapso ou se tornar criticamente ameaçado em um período de tempo muito curto (B3 só pode levar a uma listagem como VU).
-----------	--

Critério C: Degradação ambiental em qualquer um dos seguintes períodos de tempo:

C1. Os últimos 50 anos, com base na mudança de uma variável abiótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:	Gravidade relativa (%)			
	Extensão (%)	≥ 80	≥ 50	≥ 30
	≥ 80	CR	EN	VU
	≥ 50	EN	VU	
	≥ 30	VU		

<p>C2a. Os próximos 50 anos, com base na mudança de uma variável abiótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir; ou</p> <p>C2b. Qualquer período de 50 anos incluindo o passado, presente e futuro, com base na mudança de uma variável abiótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Extensão (%)</th> <th colspan="3">Gravidade relativa (%)</th> </tr> <tr> <th>≥ 80</th> <th>≥ 50</th> <th>≥ 30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 80</td> <td>CR</td> <td>EN</td> <td>VU</td> </tr> <tr> <td>≥ 50</td> <td>EN</td> <td>VU</td> <td></td> </tr> <tr> <td>≥ 30</td> <td>VU</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Extensão (%)	Gravidade relativa (%)			≥ 80	≥ 50	≥ 30	≥ 80	CR	EN	VU	≥ 50	EN	VU		≥ 30	VU		
Extensão (%)	Gravidade relativa (%)																			
	≥ 80	≥ 50	≥ 30																	
≥ 80	CR	EN	VU																	
≥ 50	EN	VU																		
≥ 30	VU																			
<p>C3. Desde 1750, com base na alteração de uma variável abiótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Extensão (%)</th> <th colspan="3">Gravidade relativa (%)</th> </tr> <tr> <th>≥ 90</th> <th>≥ 70</th> <th>≥ 50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 90</td> <td>CR</td> <td>EN</td> <td>VU</td> </tr> <tr> <td>≥ 70</td> <td>EN</td> <td>VU</td> <td></td> </tr> <tr> <td>≥ 50</td> <td>VU</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Extensão (%)	Gravidade relativa (%)			≥ 90	≥ 70	≥ 50	≥ 90	CR	EN	VU	≥ 70	EN	VU		≥ 50	VU		
Extensão (%)	Gravidade relativa (%)																			
	≥ 90	≥ 70	≥ 50																	
≥ 90	CR	EN	VU																	
≥ 70	EN	VU																		
≥ 50	VU																			

Critério D: Interrupção de processos bióticos ou interações em qualquer um dos seguintes períodos de tempo:

<p>D1. Os últimos 50 anos, com base na mudança de uma variável biótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Extensão (%)</th> <th colspan="3">Gravidade relativa (%)</th> </tr> <tr> <th>≥ 80</th> <th>≥ 50</th> <th>≥ 30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 80</td> <td>CR</td> <td>EN</td> <td>VU</td> </tr> <tr> <td>≥ 50</td> <td>EN</td> <td>VU</td> <td></td> </tr> <tr> <td>≥ 30</td> <td>VU</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Extensão (%)	Gravidade relativa (%)			≥ 80	≥ 50	≥ 30	≥ 80	CR	EN	VU	≥ 50	EN	VU		≥ 30	VU		
Extensão (%)	Gravidade relativa (%)																			
	≥ 80	≥ 50	≥ 30																	
≥ 80	CR	EN	VU																	
≥ 50	EN	VU																		
≥ 30	VU																			
<p>D2a. Os próximos 50 anos, com base na mudança de uma variável biótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir; ou</p> <p>D2b. Qualquer período de 50 anos incluindo o passado, presente e futuro, com base na mudança de uma variável biótica afetando uma fração da extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Extensão (%)</th> <th colspan="3">Gravidade relativa (%)</th> </tr> <tr> <th>≥ 80</th> <th>≥ 50</th> <th>≥ 30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 80</td> <td>CR</td> <td>EN</td> <td>VU</td> </tr> <tr> <td>≥ 50</td> <td>EN</td> <td>VU</td> <td></td> </tr> <tr> <td>≥ 30</td> <td>VU</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Extensão (%)	Gravidade relativa (%)			≥ 80	≥ 50	≥ 30	≥ 80	CR	EN	VU	≥ 50	EN	VU		≥ 30	VU		
Extensão (%)	Gravidade relativa (%)																			
	≥ 80	≥ 50	≥ 30																	
≥ 80	CR	EN	VU																	
≥ 50	EN	VU																		
≥ 30	VU																			
<p>D3. Desde 1750, com base na alteração de uma variável biótica afetando uma fração da</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Gravidade relativa (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Gravidade relativa (%)																		
Gravidade relativa (%)																				

extensão do ecossistema e com gravidade relativa, conforme indicado na tabela a seguir:	Extensão (%)	≥ 90	≥ 70	≥ 50
	≥ 90	CR	EN	VU
	≥ 70	EN	VU	
	≥ 50	VU		

Critério E: Análise quantitativa que estima a probabilidade de colapso do ecossistema como sendo:

CR	≥ 50% em 50 anos
EN	≥ 20% em 50 anos
VU	≥ 10% em 100 anos