



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovações



MARCOS PAULO FERREIRA

**DINÂMICA TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DE FOGO E
REGISTRO DE ESPÉCIES HERBÁCEAS EM ÁREAS DE
CAMPOS DE ALTITUDE NO BRASIL**

2023

MARCOS PAULO FERREIRA

**DINÂMICA TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DE FOGO E REGISTRO DE
ESPÉCIES HERBÁCEAS EM ÁREAS DE CAMPOS DE ALTITUDE NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Instrumentação e análise de dados.

Orientadora: Profª. Dra. Klécia Gili Massi

Coorientador: Prof. Dr. Enner Herenio de Alcântara

São José dos Campos

2023

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2023]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Ferreira, Marcos Paulo

Dinâmica temporal da ocorrência de fogo e registro de espécies herbáceas em áreas de campos de altitude no Brasil / Marcos Paulo Ferreira. - São José dos Campos : [s.n.], 2023.
56 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2023.

Orientadora: Klécia Gili Massi

Coorientador: Enner Herenio de Alcântara

1. Serra da Mantiqueira. 2. Áreas protegidas. 3. Série temporal. 4. Fogo. 5. Flora. I. Massi, Klécia Gili, orient. II. Alcântara, Enner Herenio de , coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VII. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa consiste na primeira avaliação da frequência de ocorrência de fogo em áreas de campos de altitude de quatro unidades de conservação na região sudeste do Brasil, com o objetivo de se compreender como o fogo está afetando este ecossistema em tempo e espaço ao longo de 35 anos (1985-2020). Ademais, foi realizado um levantamento da ocorrência de espécies herbáceas nesses locais, a fim de se avaliar o grau de endemismo, ameaça e a elaboração de uma lista de espécies comuns a esses locais visando contribuir com a restauração de áreas de campos de altitude degradados na região do Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira. Esperamos que os resultados obtidos nesta pesquisa possam auxiliar gestores de unidades de conservação e atores da restauração a manejar e conservar este ecossistema de maneira eficiente, atendendo o objetivo 15 – Vida Terrestre dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research is the first evaluation of fire frequency in high-altitude grasslands of four protected areas in southeastern Brazil, with the aim of understanding how fire is affecting this ecosystem in time and space over 35 years (1985-2020). In addition, a survey of the occurrence of herbaceous species in these locations was carried out, in order to assess the level of endemism, threat species and the elaboration of a list of species common to these locations in order to contribute to the restoration of degraded high-altitude grasslands in the Vale do Paraíba and Serra da Mantiqueira region. We hope the results obtained in this research can be a tool for protected areas managers and actors on restoration to efficiently manage and conserve this ecosystem, meeting the goal 15 – Life on Earth of the Sustainable Development Goals.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Klécia Gili Massi (Orientadora)

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Instituto de Ciência e Tecnologia

São José dos Campos

Profa. Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes (Membro da banca)

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Instituto de Ciência e Tecnologia

São José dos Campos

Prof. Dr. Leonardo Dias Meireles (Membro da banca)

Universidade de São Paulo (USP)

Escola de Artes, Ciências e Humanidades

São Paulo

São José dos Campos, 06 de junho de 2023.

AGRADECIMENTOS

Estudar e realizar uma pesquisa durante um período de pandemia global não foi uma tarefa fácil, além de lidar com questões pessoais. Por outro lado, ter fé e apoio de pessoas próximas me ajudou e fortaleceu ao longo da trajetória do mestrado.

Agradeço a Deus que me fez chegar onde estou e por me dar forças para continuar e nunca desistir.

Aos meus pais, Inês e Francisco, por todo o apoio em todas as minhas escolhas de vida e por não pouparem esforços para me ajudar atingir os meus objetivos, construindo pontes ao longo do caminho, para que eu pudesse focar nos meus estudos.

Agradeço à UNESP por toda a ajuda e apoio. Um agradecimento especial à minha orientadora, Klécia, que não desistiu de mim e me incentivou a seguir em frente. Muito obrigado.

Por fim, mas não menos importante, um agradecimento especial aos meus amigos por me ouvirem e me apoiarem, principalmente ao Luis, Yara, Raquel e Tamiris. Eu não poderia ter pessoas melhores ao meu redor.

“Sentir gratidão e não expressá-la é como embrulhar um presente e não entregá-lo.”
—William Arthur Ward

Muito obrigado!

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância, é a ilusão do conhecimento”. Stephen Hawkin

RESUMO

FERREIRA, M. P. **Dinâmica temporal da ocorrência de fogo e registro de espécies herbáceas em áreas de campos de altitude no Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2023.

A ocorrência de eventos extremos, como o aumento da temperatura, o prolongamento do período de estiagem e a redução do regime de chuvas, cria um ambiente favorável para a ocorrência de incêndios. O conhecimento de seu histórico de ocorrência é uma ferramenta importante nos programas de proteção, direcionando as ações de prevenção e combate. O bioma Mata Atlântica possui grande riqueza biológica, sendo considerado um hotspot. Entre os seus ecossistemas associados encontram-se os campos de altitude, cuja flora é constituída por espécies arbustivas e campestres localizadas junto a afloramentos rochosos. Embora existam registros históricos sobre a ocorrência de incêndios nestes locais, pouco se sabe sobre o seu regime atual, bem como sobre a flora impactada por este distúrbio. O objetivo desta pesquisa é entender a dinâmica espacial e temporal dos incêndios ocorridos em áreas de campos de altitude de quatro áreas protegidas e analisar sua composição florística em termos de endemismo e ameaça. A variabilidade interanual do fogo e sua cobertura entre 1985 e 2020 foi realizada usando imagens Landsat e sua caracterização florística por meio de um levantamento no banco de dados Specieslink. Nossos resultados mostram que o fogo em campos de altitude é um evento recorrente e contínuo. As áreas queimadas cobrem uma grande extensão espacial nas áreas protegidas, havendo maior frequência próximo aos limites do parque. A maior riqueza de espécies foi observada no Parque Estadual da Serra do Papagaio (183 espécies), seguido pelo Parque Nacional do Itatiaia (182), Parque Nacional da Serra da Bocaina (94) e Parque Estadual de Campos do Jordão (38). O maior nível de endemismo e espécies ameaçadas foi observado no Parque Nacional do Itatiaia, seguido pelo Parque Estadual da Serra do Papagaio, Parque Nacional da Serra da Bocaina e Parque Estadual de Campos do Jordão. *Asteraceae* foi a família com maior riqueza de espécies e *Baccharis* o gênero com mais espécies. Encontramos 23 espécies comuns em pelo menos quatro áreas protegidas. Dada a presença do fogo como um evento recorrente e a presença de espécies endêmicas e ameaçadas, os campos de altitude devem ser monitorados rotineiramente para criar um plano de combate mais eficaz e áreas de campos de altitude degradados devem ser protegidas e restauradas na região do Vale do Paraíba e Mantiqueira.

Palavras-chave: Serra da Mantiqueira; áreas protegidas; série temporal; fogo; flora.

ABSTRACT

FERREIRA, M. P. Temporal dynamics of fire occurrence and herbaceous species recorded in areas of high-altitude grasslands in Brazil. 2023. São José dos Campos. Dissertation Thesis (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), 2023.

The occurrence of extreme events, such as the increase in temperature, the extension of the drought period and the reduction in the rainfall regime, creates a favorable environment for the occurrence of fires. Knowledge of its history is an important tool in protection programs, directing prevention and combat actions. The Atlantic Forest biome has a great biological richness, being considered a hotspot. Among its associated ecosystems are the high-altitude grasslands, whose flora is made up of bush and grassland species located next to rock outcrops. Although there are historical records about the occurrence of fires in these places, little is known about their current regime, as well as the flora impacted by this disturbance. The objective of this research is to understand the spatial and temporal dynamics of fires that occurred in areas of high-altitude grasslands of four protected areas and analyze their floristic composition in terms of endemism and threat. The interannual variability of fire and its coverage between 1985 and 2020 was performed using Landsat images and its floristic characterization through a survey on the Specieslink database. Our results show that fire in high-altitude grasslands is a recurrent and continuous event. A large spatial extent of fire occurrence in the protected areas is occurring, with a higher fire frequency near the park boundaries. Highest species richness was observed in Serra do Papagaio State Park (183 species), followed by Itatiaia National Park (182), Serra da Bocaina National Park (94) and Campos do Jordão State Park (38). Highest level of endemism and threatened species was observed in Itatiaia National Park, followed by Serra do Papagaio State Park, Serra da Bocaina National Park and Campos do Jordão State Park. Asteraceae was the family with the highest species richness and Baccharis the genera that had more species. We found 23 common species in at least four protected areas. Given the presence of fire as a recurring event and the presence of endemic and threatened species, high-altitude grasslands should be routinely monitored to create a more effective firefighting plan and portions of degraded high-altitude grasslands should be protected and restored in the Vale do Paraíba and Mantiqueira region.

Keywords: Serra da Mantiqueira; protected areas; time series; fire; flora.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 ARTIGOS	13
2.1 Artigo – Ferreira, M. P., Alcântara, E., Massi, K. G. Dinâmica temporal da ocorrência de fogo em áreas de campos de altitude no Brasil / <i>Temporal dynamics of fire occurrence in areas of high-altitude grasslands in Brazil</i>.....	13
2.2 Artigo – Ferreira, M. P., Alcântara, E., Massi, K. G. Registro de espécies herbáceas em áreas de campos de altitude do sudeste do Brasil e implicações à sua conservação / <i>Herbaceous species recorded in high-altitude grasslands of southeast Brazil and implications to its conservation / Especies herbáceas registradas en pastizales de altura en el sureste de Brasil e implicaciones para su conservación</i>	34
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Dentre as principais discussões em nível global, as mudanças climáticas são um assunto constante na comunidade internacional devido a sua relação com a ocorrência de impactos ambientais cada vez mais frequentes. Entre as principais consequências advindas das mudanças climáticas estão a extinção de espécies ameaçadas, riscos à segurança alimentar, além daqueles relacionados a eventos extremos como inundações costeiras, chuvas extremas e ondas de calor (NOBRE; MARENGO; SOARES, 2019). O número de desastres registrados aumentou cinco vezes nos últimos 50 anos, impulsionado em parte pelas alterações climáticas induzidas pelo homem e cuja tendência deverá continuar (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2023).

Além das alterações nas paisagens naturais, as mudanças climáticas, ocorridas juntamente com a série de eventos que ainda ocorrerão, podem ser consideradas uma ameaça à biodiversidade dos biomas brasileiros, principalmente para as formações vegetais compostas por florestas com maior riqueza e endemismo de espécies, como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica (ALEIXO et al., 2010). A ocorrência de eventos extremos, como o aumento da temperatura global, a extensão e maior intensidade do período de estiagem, bem como a redução do regime de chuvas, permite a criação de um ambiente favorável à ocorrência de incêndios. Os incêndios florestais são eventos geralmente imprevisíveis que provocam alterações significativas em todos os tipos de ecossistemas (ZAITSEV et al., 2016). Essa perturbação, principalmente por causas antrópicas (SANTOS; NOGUEIRA, 2015; WHITE; WHITE, 2016; CLEMENTE et al., 2017), elimina espécies da fauna e da flora e, consequentemente, modifica os ecossistemas e sua biodiversidade (NUNES et al., 2015).

De acordo com Hardesty et al. (2005), os ecossistemas são divididos em sensíveis, dependentes e independentes do fogo. No Brasil, ecossistemas de savana e campos como o Cerrado e o Pampa são dependentes do fogo e a queima é entendida como um fator ecológico, pois sua manutenção é influenciada positivamente por eventos de queimadas (COUTINHO, 1980, 1990; PIVELLO et al., 2021). Por outro lado, as florestas tropicais úmidas, como a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica, são ecossistemas sensíveis ao fogo, onde a ocorrência de fogo é rara (MEGGERS, 1994) devido às condições climáticas desses locais e, portanto, considerado um distúrbio. Nas últimas décadas, os incêndios aumentaram na Mata Atlântica, onde já foram detectados 277.529 incêndios entre agosto de 2020 e junho de 2021 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2021). Além disso, a porção sudeste da Mata

Atlântica, o Vale do Paraíba Paulista, está sujeita a um aumento na probabilidade de queima (GUEDES et al., 2020). A Mata Atlântica tem convivido historicamente com eventos de incêndio (COCHRANE, 2003; AXIMOFF; CARVALHO RODRIGUES, 2011), modificando sua estrutura, composição e capacidade de regeneração da vegetação (SILVA et al., 2005). Além disso, esse bioma é considerado um dos mais alterados do país (MYERS et al., 2000), cujo fogo afeta a dinâmica de sucessão vegetal, o desenvolvimento e o futuro da floresta (SILVERIO et al., 2013) devido a mudanças nas sementes do solo (KENNARD et al., 2002). Dentro do Bioma Mata Atlântica, existem ecossistemas florestais, como florestas tropicais e florestas estacionais, onde o fogo é considerado um distúrbio, mas existem ecossistemas de campos de montanha, como campos de altitude, onde o fogo natural, iniciado por raios, pode ter evoluído com a presença desses ambientes, porém, apesar dessa coexistência, pouco se sabe sobre o regime e o histórico das queimadas.

Os ecossistemas montanhosos ocorrem em todas as zonas climáticas do planeta e cobrem aproximadamente 25% de sua superfície. As montanhas podem distribuir-se na forma de extensas cadeias ou como se fossem ilhas emergentes no meio das planícies. As montanhas possuem grande diversidade topográfica e geológica, o que é fator para altos índices de diversidade biológica em seus ecossistemas (MARTINELLI, 2007; SPEHN; KÖRNER, 2005). Estão presentes em diversas regiões do globo, apresentando diferentes características florísticas e constituem importantes refúgios e corredores ecológicos, além disso, costumam apresentar maior diversidade vegetal do que regiões de menor altitude (KÖRNER, 1999).

Dentre os ecossistemas de montanha, destacam-se os campos de altitude, que são um tipo de formação vegetal composta principalmente por gramíneas e pequenos arbustos restritos a grandes altitudes. No Brasil, os campos de altitude estão presentes principalmente nas montanhas da região sudeste, na Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. Sua vegetação é composta por um mosaico de arbustos (com espécies de *Baccharis*, *Vernonia*, *Eupatorieae*, *Tibouchina*, *Leandra* e *Myrtaceae*), algumas árvores pequenas ou raquíticas (*Escallonia*, *Weinmania*, *Rapanea*, *Symplocos*, *Maytenus* e *Roupala*), gramíneas (*Cortaderia*, *Calamagrostis* e *Andropogon*) e até mesmo bambus (*Chusquea* spp.), além disso, algumas ervas e pteridófitas também podem ser encontradas. Grande parte da vegetação em campos de altitude é distribuída dependendo da topografia local, sistema de drenagem e tipo de solo (SAFFORD, 1999a). Segundo Scarano et al. (2016), é notável a falta de projeções relativas aos efeitos das mudanças climáticas nos campos de altitude e suas espécies locais. Em ecossistemas montanhosos, também há evidências que sugerem que o aquecimento global reduzirá a área

disponível para espécies já adaptadas a esses habitats (SPEHN; KÖRNER, 2005; PEREZ-GARCIA et al., 2013). Além disso, as projeções também apontam para um aumento de espécies invasoras em habitats de alta montanha (BÉLLARD et al., 2013; BERTELSMEIER et al., 2013).

Embora existam registros de paleofogos em campos de altitude datando de aproximadamente 20.000 anos, antes mesmo da chegada dos humanos (BEHLING, 1997; BEHLING et al., 2007; BEHLING; SAFFORD, 2010; VERÍSSIMO et al., 2012), além da citação de ocorrência de incêndio nesses locais por estudiosos (DUSÉN, 1955; BRADE, 1956), pouco se sabe sobre sua dinâmica de ocorrência, com escassos estudos sobre o assunto. Atualmente, a ocorrência de incêndios florestais é uma das maiores ameaças aos campos de altitude do sudeste brasileiro, pois esta vegetação apresenta algumas características que contribuem para a passagem do fogo, como o clima seco e frio, vegetação seca durante o inverno e ventos fortes (BRADE, 1956; SEGADAS-VIANNA; DAU, 1965; SAFFORD, 1999a; RIBEIRO et al., 2007). Além disso, os campos de altitude são circundados por diversas propriedades rurais onde o fogo é utilizado como forma de manejo em algumas atividades agropecuárias, havendo o risco de que o fogo utilizado por esses proprietários rurais acabe se alastrando e atingindo áreas protegidas em unidades de conservação ou mesmo espécies ameaçadas que estão presentes nesses ambientes

Os campos de altitude são o ecossistema que mais difere do restante da Mata Atlântica, além de ser a única região de clima frio e úmido da face leste da América do Sul. Para biólogos, geógrafos e conservacionistas, os campos de altitude deveriam ser priorizados devido à sua diversidade, altos índices de endemismo de flora e conexões com outras formações das Américas, mas isso não ocorre devido ao desinteresse dos pesquisadores brasileiros em ecossistemas montanhosos e o caráter "andínocêntrico" das pesquisas sobre esses ecossistemas na América do Sul (SAFFORD, 1999b).

Para Ireland (2013), o conhecimento do histórico de incêndios e informações estatísticas sobre o tamanho e a área de ocorrência dos incêndios são uma ferramenta importante nos programas de proteção florestal. Além disso, os gestores das áreas protegidas podem utilizar essas informações para melhor direcionar as ações de prevenção e combate. Além disso, o conhecimento dos fatores de ignição é de fundamental importância para estabelecer programas de prevenção e combate a incêndios florestais, principalmente em áreas naturais protegidas (OLIVEIRA et al., 2018). Por outro lado, Lima et al. (2018) apontam que as áreas protegidas no Brasil apresentam baixa capacidade de combate aos incêndios florestais, pois

aproximadamente 51% dos incêndios ocorridos nesses locais queimaram uma área superior a 4 ha entre 2008 e 2012.

A vasta extensão territorial do Brasil e sua cobertura vegetal diversificada, bem como seu significativo número de incêndios florestais, enfatizam a necessidade de aprimorar os sistemas existentes de controle e detecção desses incêndios (CAÚLA et al., 2015). Para Silva (2014) e Morrison (2014), o monitoramento de queimadas por meio de imagens orbitais de satélite é o meio mais eficiente e de baixo custo em países com grande extensão territorial como o Brasil. Nos últimos anos, houve uma melhoria na capacidade de processamento dos dados obtidos pelos sensores de imagem, permitindo obter informações sobre uso e cobertura do solo, bem como áreas queimadas, para grandes áreas. Iniciativas como o MapBiomas têm sido bem-sucedidas nessa forma de obter dados sobre cicatrizes de queimaduras, bem como sobre uso e cobertura da terra.

Tal abordagem permite focar nas quatro prioridades de ação para desastres presentes no Quadro de Sendai (UNITED NATIONS, 2015), a saber: compreensão do risco de desastres; fortalecer a governança do risco de desastres visando sua gestão; investir na redução do risco de desastres para resiliência e melhorar a preparação para desastres para uma resposta eficaz e “reconstruir melhor” na recuperação, reabilitação e reconstrução.

Devido à constante mudança no clima, o fogo causado pelo homem e estratégias inadequadas de manejo do fogo, hipotetizamos uma tendência constante de sua ocorrência em campos de altitude. Em relação a sua fauna, levantamos a hipótese de que áreas protegidas com mais áreas queimadas e mais espécies endêmicas têm maior risco de extinções locais e espécies que são comuns a mais de uma área protegida tendem a ser menos propensas a serem impactadas pelo fogo. Este trabalho visa compreender a dinâmica espacial e temporal dos incêndios ocorridos em quatro unidades de conservação durante 35 anos (1985 a 2020). Os objetivos foram:

- a) Quantificar e comparar as áreas queimadas anualmente em campos de altitude;
- b) Mapear as frequências de queima por ano em campos de altitude;
- c) Analisar a flora dos campos de altitude, verificando o seu grau de endemismo e ameaça.

2 ARTIGOS

2.1 Artigo – Ferreira, M. P., Alcântara, E., Massi, K. G. Dinâmica temporal da ocorrência de fogo em áreas de campos de altitude no Brasil / *Temporal dynamics of fire occurrence in areas of high-altitude grasslands in Brazil*

Artigo elaborado de acordo com as normas do Periódico Rangeland Ecology and Management (Print version ISSN 1550-7424). Enviado para publicação em: 18/7/2023.

ABSTRACT

Fire is a global disturbance in many terrestrial ecosystems. More intense fires are occurring not only in fire-prone ecosystems but also in fire-sensitive areas. Managing and conserving the essential processes of grasslands still remains a challenge although their importance and attempts to protect this ecosystem. We aimed to analyze spatial and temporal dynamics of fire during 35 years (1985 to 2020) in high-altitude grasslands of four protected areas in southeast Brazil. The inter-annual variability of fire and the grasslands cover between 1985-2020 were assessed by using burned area and land use and land cover data from Landsat satellite. Our results reveals that fire in high-altitude grasslands over the last 35 years tend to occur more frequently and continuously. A large spatial extent of fire occurrence in the protected areas is occurring, with a higher fire frequency near the park boundaries. Our work contributes as a first step to guide appropriated fire management in high-altitude grasslands. This is crucial because more studies on fire impacts and the ideal fire regime to maintain this ecosystem is urgent.

Key-words: Serra da Mantiqueira; Protected areas; High-altitude grasslands; Fire; Time series.

Introduction

Natural disasters are generally divided into two main categories: geophysical (wildfires, floods, earthquakes and droughts) and biological (biotic stresses) (Bokwa 2013). Among geophysical disasters, forest fires occur annually worldwide, affecting the population and the environment of adjacent areas with significant economic and ecological losses, and often human victims (Rodríguez-Martínez and Vitoriano 2020). On a global scale, fire is one of the most important disturbances in terrestrial ecosystems, being widely used by humans in order to modify the forest vegetation, especially in tropical and subtropical ecosystems (Van Der Werf et al. 2010). Existing studies show that the estimated global annual burning area is approximately 420 million hectares (Giglio et al. 2018).

With grass-dominated (such as grasslands, meadows) or co-dominated (such as savannas, steppes) biomes occurring in mountain regions of all continents (except Antarctica), grasslands (18%) are the second most dominant landcover in the world's mountains, followed by forests (34%) (Vidal Jr et al. 2021), occurring in areas where the tree cover is constrained by edaphic or climatic factors, or by disturbances like fire, herbivory or flooding (Leys et al. 2018). Grassland systems currently account for 80% of earth's annual fire activity although making up only 40% of the planet's land surface (Mouillot and Field 2005). Although the majority of grassland fires take place in Africa and Australia, substantial grassland fires also occur in the Americas and Asia as a result of both human activities (Roos et al. 2014) and wildfires (Van Der Werf et al. 2006). While mountain grasslands were historically primarily managed for the purpose of providing forage, their significance for regulating (e.g. soil stability, water protection, and carbon storage) and cultural ecosystem services (e.g. aesthetic and recreational values) is now becoming more widely acknowledged (Lamarque et al. 2011; Bürgi et al. 2015). Despite widespread recognition of their importance and varied attempts to protect grasslands around the world, managing and conserving their essential processes remains a significant challenge (Leys et al. 2018).

According to Hardesty et al. (2005), ecosystems are divided into dependent, sensitive and independent of fire. In Brazil, fire-dependent ecosystems are formed by grasslands and savannas of the Cerrado, Pampa and Pantanal, while fire-sensitive environments are restricted to humid tropical forests, dominant in the Amazon basin and in the Atlantic Forest, which present no indication of evolutionary history influenced by fire and their species do not have adaptations that favor its resistance to and resilience after fire events (Pivello 2021). Plus, the Caatinga is classified as fire-independent under the natural fire regime and conditions (Pivello

2011). More recently, not only fire-prone ecosystems are experiencing more intense wildfires, but also fire-sensitive areas are also facing large-scale burning events (UNEP 2022).

In recent decades, fires have increased in the Atlantic Forest, where 277,529 fires have already been detected between August 2020 and June 2021 (INPE 2021). Although the use of fire in this biome is prohibited and allowed under specific circumstances (Brasil 2012), its frequent occurrence results in lowered humidity, increased forest environment dryness, decreased tree cover, and altered species richness (Fu et al. 2013; Carvalho et al. 2022). Furthermore, this biome is considered one of the most altered in the country (Myers et al. 2000), where fire affects the dynamics of plant succession, development and future of the forest (Silvério et al. 2013; Sansevero et al. 2020). Also in the southeastern portion of the Atlantic Forest, the Vale do Paraíba Paulista, is subject to an increase in the burning probability (Guedes et al. 2020).

Within the Atlantic Forest biome, there are forest ecosystems, such as rainforests and seasonal forests, where fire is considered a disturb, but there are grassland ecosystems, such as high-altitude grasslands (in portuguese, campos de altitude), where natural fires, started by lightning, may have evolved along with these environments, however little is known about its burning regime and history and studies on the subject are scarce. Aximoff (2011) and Aximoff and Rodrigues (2011), reported that anthropogenic fires in high-altitude grasslands are occurring with higher frequency, while natural events are rare. The high-altitude grasslands occur in the high altitudes (higher than 1200 m) and on mountains (such as Serra da Mantiqueira) and its flora consists mainly of bush and grassland species located next to the outcrops of rocks (IBGE 2012; Meireles et al. 2014), having as main characteristics the dry climate, constant winds, frosts and presence of a large amount of dry plant biomass (Brade 1956; Safford 1999), favoring fires that may be intensified due to climate changes and anthropogenic pressures.

A deeper understanding about past and current fire occurrence in this vegetation is central to prevent and combat illegal fires, as well as developing clear goals for fire management (Pivello et al. 2021). Additionally, this knowledge may help to carry out controlled burning, in addition to understanding and combating externalities present in the surroundings of protected areas that may trigger a major fire event. Thus, we aimed to analyze spatial and temporal dynamics of fire during 35 years (1985 to 2020) in high-altitude grasslands of four protected areas in southeast Brazil. We assessed fire frequency in the region by considering inter-annual variability and examined trends in burned areas and land use and land cover.

Material and Methods

Study site

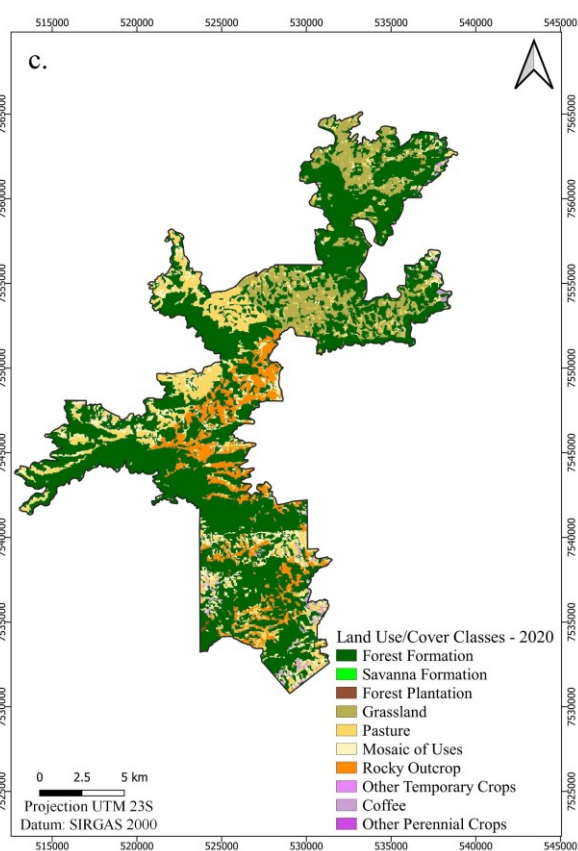
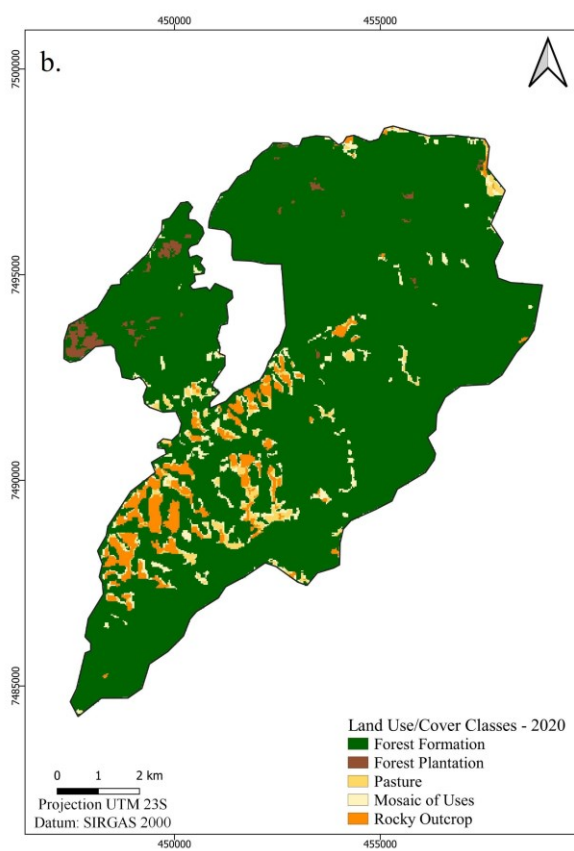
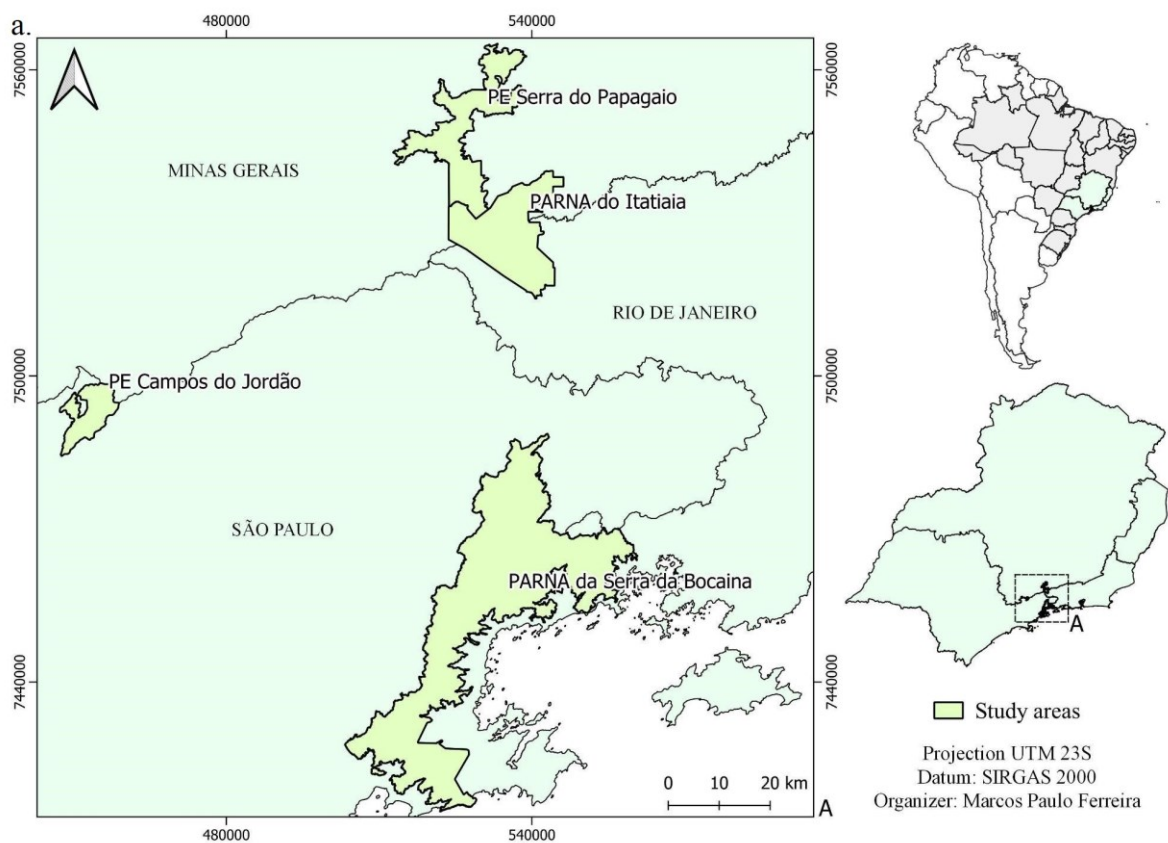
The study was carried out in four protected areas (PA) with high-altitude grasslands, two national parks (PARNA) and two state parks (PE) (Table 1), located in Southeast Brazil (Figure 1), in São Paulo, Rio de Janeiro and Minas Gerais states, in the Atlantic Forest biome.

Table 1. Size, date of creation, coordinates, soil, vegetation, climate, altitude and location of each studied protected area in Brazil.

Protected area	Size (ha)	Creation	Coordinates	Soil	Vegetation	Climate	Altitude	Municipalities
PE Campos do Jordão	8,341	Lei Estadual nº 11.908 / 27 de março de 1941	22°41'26.55"S / 45°29'35.28"W	Argisols, Cambisols, Latosols, Neosols	Mixed Ombrophilous Forest; Dense Ombrophilous Forest; High-altitude grasslands; anthropized areas with reforestation of Pinus sp and other exotic species.	Temperate, with mild summer	1500-2000m	SP (Campos do Jordão)
PE Serra do Papagaio	22,917	Decreto Estadual nº 39.793 / 05 de agosto de 1998	22°08'31.85"S / 44°43'43.40"W	Espodosols, Cambisols, Neosols, Organosols	Nebular Forest; high altitude grasslands	Altitude subtropical, with dry winter and mild summer	1160-2340m	MG (Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Itamonte, Pouso Alto)
PARNA do Itatiaia	28,084	Decreto Federal nº 1.713 / 14 de junho de 1937	22°22'22.03"S / 44°42'14.27"W	Argisols, Cambisols, Latosols	High Montane Dense Ombrophilous Forest; Montane Dense	Altitude subtropical, with dry winter and mild summer	540-2791m	MG (Bocaina de Minas, Itamonte); RJ (Itatiaia, Resende)

Ombrophilo
us Forest;
Montane
Semideciduo
us Forest;
Campos
Rupestres;
high altitude
grasslands

PARNA da Serra da Bocaina	104,0 00	Decreto Federal nº 68.172 / 4 de fevereiro de 1971	22°44'14.34 ”S / 44° 36'56.59”W	Argisols, Cambiso ls, Espodos ols, Latosols, Neosols	High altitude grassland, High Montane Dense Ombrophilo us Forest, Montane Dense Ombrophilo us Forest, Submontane Dense Ombrophilo us Forest, Restinga	Temperate, with mild summer	0-2095m	SP (São José do Barreiro, Ubatuba, Cunha, Areias); RJ (Paraty, Angra dos Reis)
---------------------------------	-------------	---	---------------------------------------	--	--	-----------------------------------	---------	--



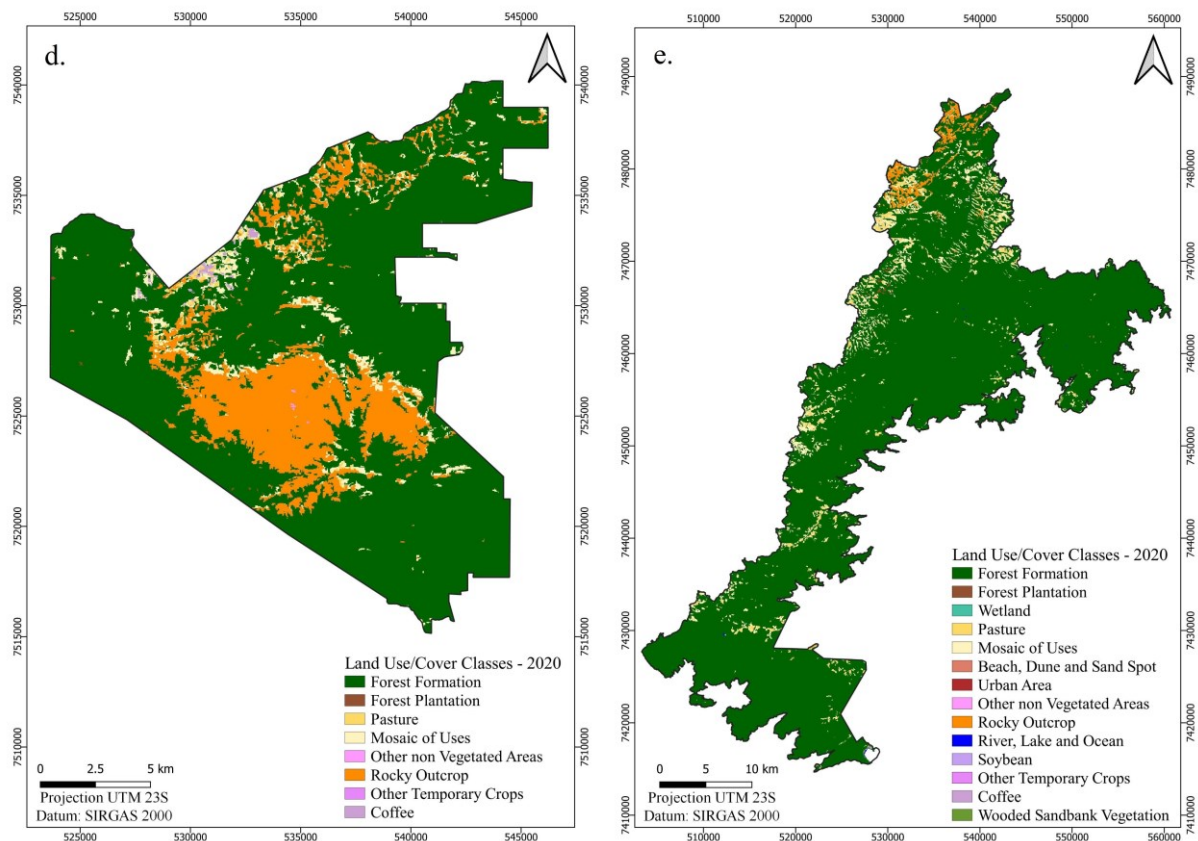


Figure 1. Overview of the study sites. (a) Location of the conservation units (PE - State park; PARNA - National park). (b-e) Land use and land cover in 2020 for (b) PE Campos do Jordão, (c) PE Serra do Papagaio, (d) PARNA do Itatiaia, (e) PARNA da Serra da Bocaina.

PE Campos do Jordão is a priority region for conservation (FAPESP and Secretaria Estadual do Meio Ambiente 2007) and its management plan is one of the first created in Brazil (Fundação Florestal 2015). PARNA do Itatiaia, the first national park of Brazil is part of Atlantic Forest Biosphere Reserve and of Mosaic of Protected Areas of Serra da Mantiqueira, which is an instrument established by the National System of Nature Conservation Units Law (SNUC) to strengthen integrative and participative management of areas (Tomzhinski 2012). Furthermore, it is an extremely high priority for biodiversity conservation by Ministry of the Environment (MMA 2004). PARNA da Serra da Bocaina, considered an important fragment of Atlantic Forest, has a large biodiversity and several ecosystems, in addition to a territory with high endemism, ecological refugees and endangered species (IBAMA 2002). Lastly, PE da Serra do Papagaio integrates the Ecological Corridor of Mantiqueira and the Serra da Mantiqueira Environmental Protection Area (APA) protecting, along with PARNA do Itatiaia, one of the largest fragments of native vegetation of the Mantiqueira (Instituto Estadual de Florestas 2009). PARNA da Serra da Bocaina is the largest protected area and PE Campos do

Jordão, the smallest (Table 1). All of them are under temperate and subtropical climate (Alvares et al. 2015; EMBRAPA, 2022), with high-altitude grasslands and altitudes reaching 2791 m (Table 1).

Database

Land use and land cover data

Land use and land cover were gathered from MapBiomias project (Souza et al. 2020), collection 7. Using a Random Forest machine learning classification process on Landsat images with a spatial resolution of 30m, being processed on Google Earth Engine cloud processing (https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia?cama_set_language=pt-BR), we obtained maps of land use and land cover. Time range comprised the period between 1985 and 2020, with one image per year, where 1985 was the first year available in the time series.

For the selection of areas corresponding to high-altitude grasslands, once MapBiomias does not have a standardised classification for this ecosystem, we selected the natural covers that most resemble this phytophysiognomy within the four protected areas, namely: rocky outcrop (afloramento rochoso, 29), grassland formation (formação campestre, 12) and natural non forest formation (formação natural não florestal, 10). Meaning of the values of these attributes can be found in https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Legenda/Legenda_Colec%CC%A7a%CC%83o_7_PT-EN.pdf.

Burned area

Time series of burned area data was obtained from the MapBiomias Fogo project (Souza et al. 2020), collection 1. To carry out mapping of scars, machine learning algorithm (deep learning) was applied on the Google Earth Engine and Google Cloud Storage platform (<https://mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo-1>). Time series range comprised the same period of land use and land cover data (1985-2000), obtaining an annual image comprising the burn scars for each year.

Data processing

Each raster image went through the vectorization process, where the image corresponding to the burn scar overlapped with the image corresponding to the areas of high-altitude grasslands in order to quantify the yearly burned area per hectare. For the recurrence maps, the 35-year burned area layers were stacked and the pixel overlapped was spatially accounted for. The cartographic database was standardized to datum SIRGAS 2000, projection UTM - 23S. All analyses were generated and processed in QGIS 3.16.4 software (Figure 2).

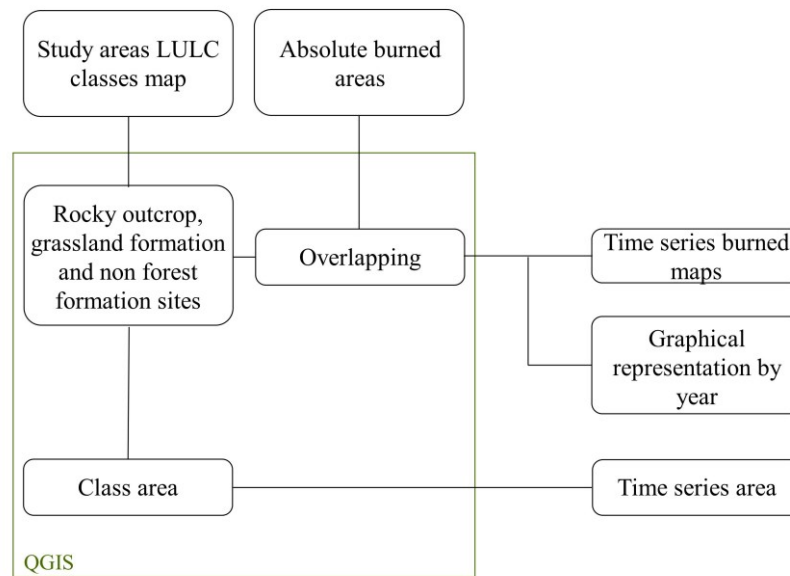


Figure 2. Workflow of data processing

Results

Land use and land cover

Most of high-altitude grasslands were classified as rocky outcrops, followed by grassland formation (Table 2). Non-forest formation was not observed in the conservation units. PARNA do Itatiaia, PE Serra do Papagaio, PARNA da Serra da Bocaina and PE Campos do Jordão, in this order had the largest to the smallest total area of high-altitude grasslands (Table 2).

Table 2. Size (ha) of rocky outcrop (AR) and grassland formation (FC) in each protected area (PA). PE: State park e PARNA: National park.

PA/Year	PE Campos do Jordão	PARNA da Serra da Bocaina	PARNA do Itatiaia	PE Serra do Papagaio	
	AR	AR	AR	AR	FC
1985	215.53	1545.90	4590.23	1877.70	753.11
1990	209.24	1524.89	4602.85	1832.50	948.53
1995	206.65	1524.64	4566.21	1821.31	963.86
2000	235.33	1573.70	4600.14	1864.51	1366.20

2005	235.53	1590.84	4623.10	1867.46	1492.89
2010	254.03	1577.24	4668.94	1960.74	1800.28
2015	352.54	1676.89	4874.51	2074.32	2351.51
2020	362.13	1702.24	4940.86	2118.15	2689.93

In PE Campos do Jordão, PARNA da Serra da Bocaina, PARNA do Itatiaia and AR of PE Serra do Papagaio, we observed the smallest area in 1995 and the largest in 2020; FC of PE Serra do Papagaio had the smallest area in 1985 and the largest in 2020. Over the years, PE Serra do Papagaio had an increase in FC (1936.82 ha), followed by PARNA do Itatiaia (387.27 ha). On the other hand, FC of PE Serra do Papagaio had the greatest area loss (-56.39 ha), followed by the AR of PARNA do Itatiaia (-36.64 ha) and PARNA da Serra da Bocaina (-34.86 ha), between 1985 to 2020.

Burnings

Part of these losses can be explained by fires. Over the last 35 years (Table 3), the areas burned in FC in PE Serra do Papagaio totaled 2685.64 ha, followed by the AR in PARNA Itatiaia (5642.90 ha), PARNA da Serra da Bocaina (1842.97 ha), in FC of PE Serra do Papagaio (1590.90 ha) and in PE Campos do Jordão (202.02 ha). Thus, the high-altitude grasslands in PARNA da Serra do Papagaio and PARNA Itatiaia had the highest fire extension.

Over the years, between 1985 and 1990, we verified that AR of PE Campos do Jordão and PARNA da Serra da Bocaina burned less, as well as between 1996 and 2005 did PARNA do Itatiaia and PE Serra do Papagaio. On the contrary, between 1985 and 1995, PARNA do Itatiaia and PE Serra do Papagaio had an increase in burning extent. PE Campos do Jordão, PARNA da Serra da Bocaina and PARNA do Itatiaia had an increase in high-altitude grasslands burned between 2011 and 2020.

Table 3. *Accumulated burned area (ha) of afloramento rochoso (AR) and formação campestre (FC) inside each protected area (PA). PE: State park and PARNA: National park.*

PA/year	PE Campos do Jordão	PARNA da Serra da Bocaina	PARNA do Itatiaia	PE Serra do Papagaio	
	AR	AR	AR	AR	FC

1985-1990	8.14	175.23	2604.18	111.24	147.10
1991-1995	46.44	251.90	143.73	288.75	220.24
1996-2000	31.53	332.71	52.09	127.05	232.42
2001-2005	18.46	217.86	590.51	79.79	109.81
2006-2010	30.67	253.16	1715.95	113.15	286.41
2011-2015	55.97	230.98	124.99	281.52	528.07
2016-2020	10.81	381.12	411.46	508.40	1161.59

Relatively, FC of PE Serra do Papagaio were the most burned areas, followed by the AR of PARNA do Itatiaia, which cumulatively burned 156% and 122% of total areas respectively. AR of PE Serra do Papagaio (78%), followed by PE Campos do Jordão (82%) burned less. Between 1985 and 1995, there were proportionally more burned areas in PE Campos do Jordão (19%) and PE Serra do Papagaio (10% - afloramentos rochosos), while the highest proportion of burned area occurred between 2011 and 2020 in PE Serra do Papagaio (19% - FC and 10% - AR), PARNA da Serra da Bocaina (8%) and PARNA do Itatiaia (6%).

Most of the high altitude grasslands in the four studied protected areas burned at least once along the parks, except for PARNA da Serra da Bocaina that has some sites that never burned. In PE Campos do Jordão (Figure 3, a), the maximum burn frequency reached four times, but most of the burned areas burned twice during the 35 analyzed years. In PE Serra do Papagaio (Figure 3, b) fires were dispersed all over the entire park, mostly burning two to four times, with some places reaching 17 times in 35 years (in mid north region, followed by mid south region and the north region). In PARNA do Itatiaia (Figure 3, c), although there is a higher burning frequency of up to 28 times in the central region, they are mostly represented by small patches surrounded by low frequent and large continuous burned patches. The north portion of the park is represented by small and low frequent isolated burned patches. Most of PARNA da Serra da Bocaina (Figure 3, d) had low frequent and dispersed burned patches in the northeast portion of the park. We verified a higher burning frequency of up to 14 times in the northwest portion, close to the park boundary.

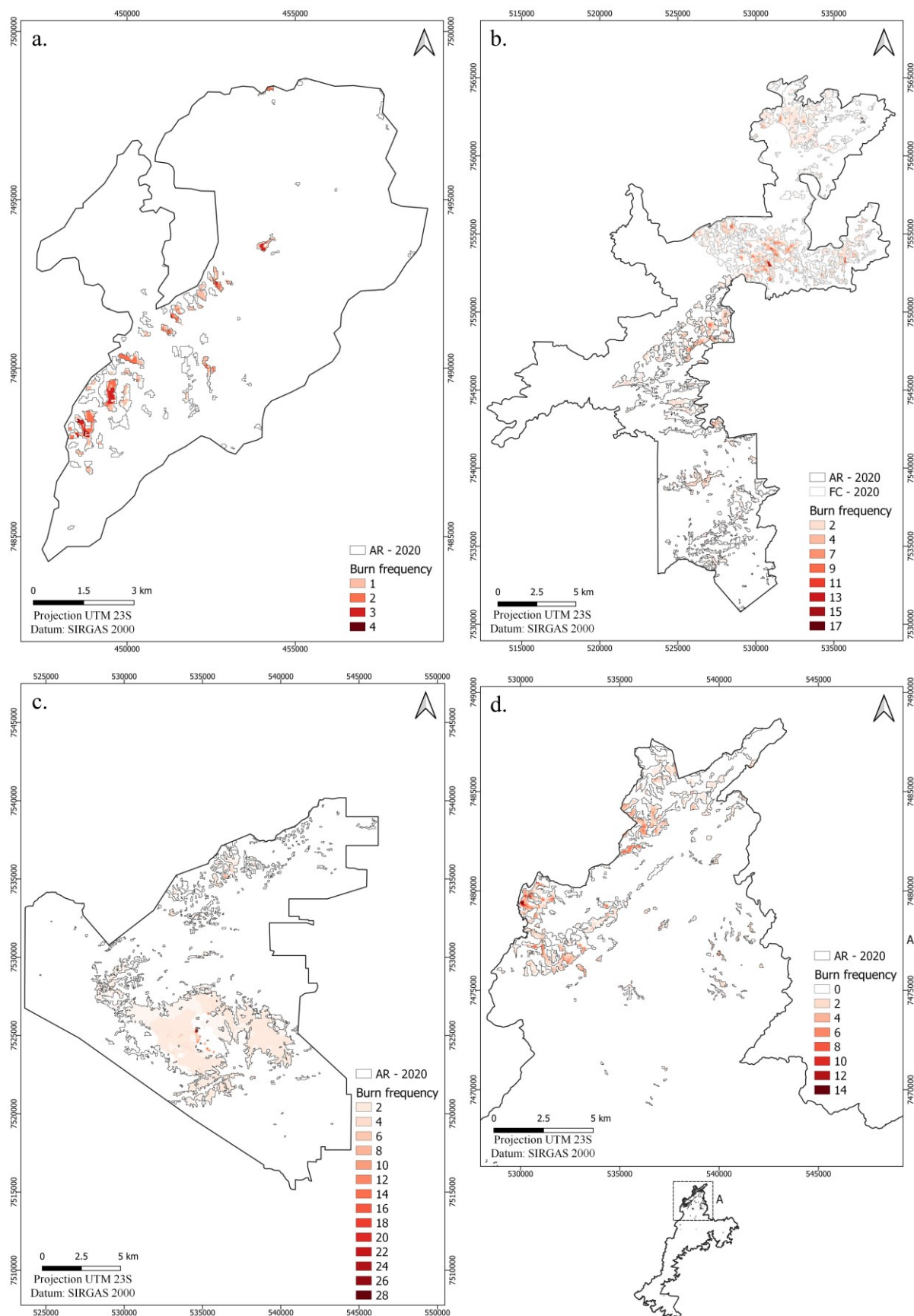


Figure 3. 35 years (1985-2000) of burn extent and frequency and the AR (afloramento rochoso) and FC (formação campestre) cover in 2020 of the high-altitude grasslands of the PE Campos

do Jordão (a), PE Serra do Papagaio (b), PARNA do Itatiaia (c) and PARNA da Serra da Bocaina (d).

The burned areas were not uniformly distributed in the high-altitude grasslands. In PE Campos do Jordão (Figure 4, a), a major fire was observed in 1994, burning around 23% of them, while in the remaining years burned areas were less than 10%, with zero burning events from 2017 to 2020. Fire was not a regular event in PE Campos do Jordão. In PE Serra do Papagaio (Figure 4, b), major burning events were observed in 1994, 2011, 2017 and 2020, ranging from 15% to 30% of the area of high-altitude grasslands. From 2010-2020, there were more areas being burned in grassland formations than in rocky outcrops. Moreover, fire was a regular event in PE Serra do Papagaio, not occurring in 1992 and 2005, only. Although burned areas in PARNA do Itatiaia (Figure 4, c) were less than 5% over the years, major burning events were identified in 1988 (burning more than 50% of high-altitude grasslands), 2001, 2007 and 2010, burning 11.2%, 16.7% and 18.6%, respectively. After those major fire events, the following burning areas occurred more recently in 2016 (1.4%), 2017 (2.2%) and 2019 (3.6%). In PARNA da Serra da Bocaina (Figure 4, d), fire occurrence was more uniformly distributed, but without a major burning event. Only 1994, 2013 and 2017, burned around 10% of high-altitude grasslands.

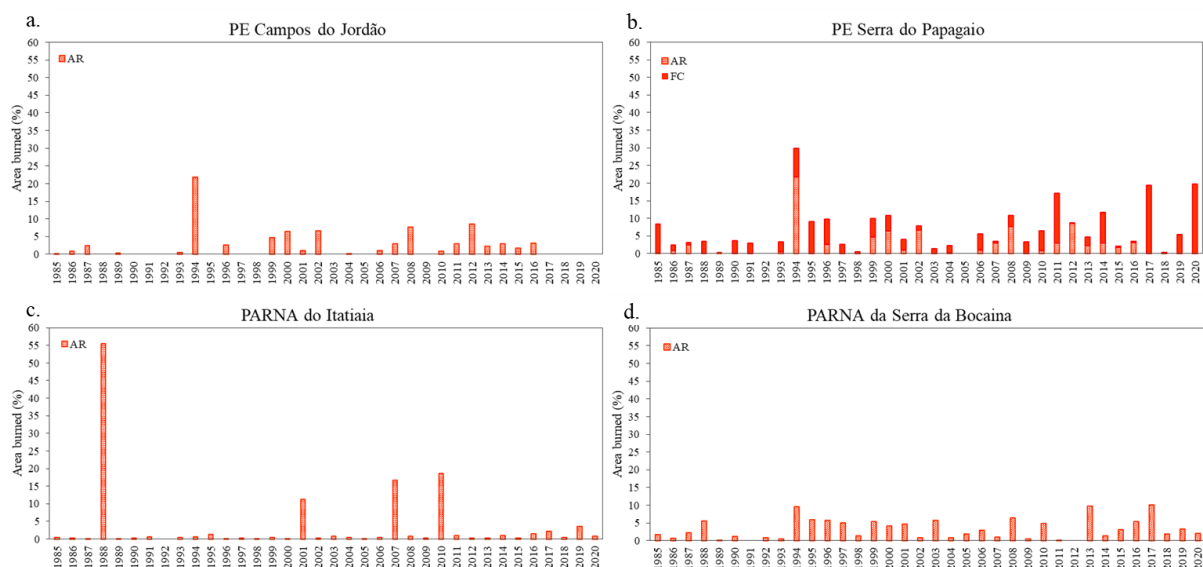


Figure 4. Burned area across PE Campos do Jordão (a), PE Serra do Papagaio (b), PARNA Itatiaia (c) and PARNA da Serra da Bocaina (d) from 1985 to 2020, Brazil.

Discussion

Implications for fire management

Our spatiotemporal analysis highlights a knowledge gap on fire dynamics in high-altitude grasslands and provides a compelling case for new policies in land management inside protected areas and its surroundings. It is important to address this issue due to 1) the spatial extent of fire occurrence, 2) the frequent and extensive reburning over the years, 3) the possible major impacts on biodiversity and ecosystem services. Taking into account the current climate change scenario, where extreme events are predicted to include significant temperature increases and the extension of dry periods during winter (Marengo et al. 2010, IPCC 2023), fire risk will increase steadily in high-altitude grasslands (Aximoff et al. 2016) and the extinction of endangered and rare species may occur as a result of altered burning regimes (Aximoff and Rodrigues 2011).

High-altitude grassland areas have increased over the years and fire has been burning extensive areas in the four protected areas. Although there might be misinterpretations in land use and land cover image classification process, part of this increase in grassland areas might be due to fire. For Serra da Bocaina National Park (IBAMA 2002) and Serra do Papagaio State Park (Instituto Estadual de Florestas 2009), the occurrence of indiscriminate fire is mentioned as one of the causes of the increase in grassland areas.

Extensive areas have been burned repeatedly (at least 2 times) over the years, which emphasizes the anthropic occurrence of fires. Natural fires in these sites are ignited by lightning and spread over small areas, due to rains that fall after, while anthropogenic ones occur in large extensions and in the middle of the dry season. Adámek et al. (2015) found that the majority of fires in the Bohemian Switzerland National Park (BSNP), in the northwest of the Czech Republic, had unidentified or unreported causes (83%), with tourists being the main causes of 10% of fires, cigars accounting for 4% and 3% for lightnings. In addition, the majority of fires in the Itatiaia National Park had unknown causes and agents (88%), while the majority of the remaining incidents (83%) were caused by people, primarily for the purpose of cleaning up and renewing pastures (43%) (Aximoff and Rodrigues 2011). According to authors, the lack of information about causes and agents is a consequence of the precariousness of employees. The proportion of unidentified causes for major fires in southern France was high until 2003, but has significantly decreased since then as a result of more effective investigations (Ganteaume and Jappiot 2013).

Fire has been a constant over the years in study areas, and major fire events were

widely reported. In Campos do Jordão State Park, 50% of the park was burned in 1994, whose suspected cause was intentional (Chapier and Teles 1994). One of the largest fires in Serra do Papagaio State Park occurred in 2017 and lasted more than a week, where individuals fired gunfires, threatening brigade teams, which undoubtedly indicates that fires started intentionally and criminally (Rodrigues 2017). In 1988, Itatiaia National Park had the largest fire event in the last four decades, larger than extensions of 2001, 2007 and 2010 fires and no other fires were reported in high-altitude grasslands around the rocky outcrops of Agulhas Negras and Prateleiras (Tomzhinski et al. 2012). In Serra da Bocaina National Park, one of the major fires occurred in 2017 and lasted four days, probably caused by pasture reform burning not meant to spread (Moreira 2017).

The management plans of the protected areas address fire issues in different aspects, especially describing the historical context of occurrence. In Campos do Jordão State Park, the historical use of fire is not addressed, but the buffer zone is divided into different zones of fragility in order to help to monitor and control fire outbreaks (Fundação Florestal, 2015). In Serra do Papagaio State Park, according to the management plan mentions, anthropic pressure, such as cattle and fire use to renew pastures, strongly influences the distribution of grassland formations (Instituto Estadual de Florestas, 2009). There are often both natural and anthropogenic forest fires in this protected area and, in 2011, a major fire affected grasslands and forests (Santana et al. 2020).

In Itatiaia National Park, fires have been recorded since the 18th century (Dúnsen, 1955; Brade, 1956). The highest number of fire events occur outside the Park, but, the largest fires occur within the protected area, in high-altitude grasslands, due to the combination of pasture and altered vegetation (ICMBIO 2013). Several studies registered fires in different years and regions of this park (Aximoff 2011; Aximoff and Rodrigues 2011; Nunes et al. 2015, Aximoff et al. 2016; Belchior et al. 2020). In Serra da Bocaina National Park, burnings are a common practice to maintain pastures and clear land (IBAMA, 2002). Also, according to the management plan, park residents and local leaders point to an increase in fire incidence after the park creation decree of 1971, as a form of retaliation. According to Medeiros and Fiedler (2004), the non-regularized land situation within the protected areas increases the pressure on conservation of natural resources. Plus, Aximoff and Rodrigues (2011), identified that internal and surrounding land regularization is a fundamental action for prevention of fires in protected areas. In Europe, conflicts with the local population, due to the lack of understanding and perceived benefits in management plans of those areas, make some protected areas more

vulnerable to fires (Fuentes-Santos et al. 2013).

Regarding presence of fire brigades, Campos do Jordão State Park is part of *Operação Corta-Fogo* (State System for Forest Fires Prevention and Fighting), regulated by a state decree which place municipalities locally competent for prevention, control, inspection and fire fighting in areas with native vegetation cover (São Paulo 2010). Both Serra da Bocaina (IBAMA 2002) and Itatiaia (ICMBIO 2013) National Parks have fire brigades, with a staff of 9 and 28 persons, respectively. Serra do Papagaio State Park (Instituto Estadual de Florestas 2009) does not seem to count on fire brigades, but the presence of outsourced workers in fighting fires. There is not a norm or regulation about people and adequate structure for brigade members, but in general Brazilian protected areas are understaffed. Thus, with a limited amount of equipment, financial and human resources, park managers must decide the most efficient application of subsidies in actions, such as prevention (environmental education campaigns), fuel management (prescribed burning and mechanical treatments), pre-suppression (planning and preparation, recruitment and training of firefighters, maintenance of firebreaks and water points), suppression and restoration measures (Mavsar et al. 2010).

Prescribed burning has been advocated as a method for preserving biodiversity of the Cerrado grasslands, and it is even permitted in their protected areas where management plans call for it (Miranda 2010). Although prescribed burning has become a tool of management increasingly used in several ecosystems in the world, which what is known is that the use of fire, under controlled conditions, allows the reduction of combustible material, thereby minimizing its extent and severity (Silva et al. 2021). We expect that this kind of "learning from managing" is soon expanded to additional protected areas after experimental controlled fire in high-altitude grasslands was recently applied in Itatiaia National Park (Portes et al. 2018).

As shown in this study, fire has been occurring with different frequencies in high-altitude grasslands over the four studied protected areas in southeast Brazil. This information is crucial to help park and fire managers to detect sensible regions where actions are needed for fire prevention and combat plan. Although there are indications that fire is a significant ecological factor influencing species diversity in areas of high-altitude grasslands (Fidelis and Pivello 2011, Sühs et al. 2020), more studies on fire impacts and the ideal fire regime in order to maintain this ecosystem is urgent.

References

- Adámek, M., Bobek, P., Hadincová, V., Wild, J., Kopecký, M., 2015. Forest fires within a temperate landscape: a decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. *For. Ecol. Manag.* 336, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.014>.
- Aximoff, I., 2011. O que perdemos com a passagem do fogo pelos campos de altitude do estado do Rio de Janeiro. *Bio. Brasil.* 2, 180-200.
- Aximoff, I., Rodrigues, R.C., 2011. Histórico de incêndios florestais no parque nacional do Itatiaia. *Ci. Fl.* 21, 83-92. <https://doi.org/10.5902/198050982750>.
- Aximoff, I., Nunes-Freitas, A.F., Braga, J.M.A., 2016. Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no parque nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. *Oecol. Aust.* 20, 200-218. <https://doi.org/10.4257/oeco.2016.2002.05>.
- Alvares, C.C., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift.* 22, 711-728. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507).
- Belchior, I.B., Carvalho, L.M.T., Gomes, S.R., Ferreira, F.C., Pereira, R.S.S., Tomzhinski, G.W., Motta, M.S., 2020. Occurrence and recurrence of forest fires in Itatiaia national park between 2008 and 2016. *Bio. Brasil.* 10, 72. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v10i1.1559>.
- Bokwa, A., 2013. Natural hazard, in: Bobrowsky, P.T. (Ed.), *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer Verlag, Dordrecht, pp. 711–718.
- Bürgi, M., Silbernager, J., Wu, J., Kienast, F., 2015. Linking ecosystem services with landscape history. *Landsc. Eco.* 30, 11-20. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0102-3>.
- Brasil, 2012. Lei nº 12.651 de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm (accessed 20 May 2023).
- Brade, A. C., 1956. A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 5, 1-114.
- Carvalho, L.Z.G., Massi, K.G., Coutinho, M.P., Magalhães, V.D., 2022. Fire effects on Atlantic Forest sites from a composition, structure and functional perspective. *Braz. J. Biol.* 82, 1-11. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.268185>
- Chapier, C., Teles, I., 1994. Fogo destrói 50% de reserva em Campos. *Folha de S. Paulo*. <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/8/30/cotidiano/50.html> (accessed 20 May 2023).
- Dusén, P.K.H., 1955. Contribuições para a flora do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 4, 6-91.
- EMBRAPA, 2022. Clima. <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. (accessed 15 December 2022).

FAPESP and Secretaria Estadual Do Meio Ambiente, 2007. *Guias da biodiversidade paulista*. <https://bv.fapesp.br/linha-do-tempo/1769/mapas-lei-conservacao-biodiversidade-paulista/> (Accessed 28 April 2023).

Fidelis, A., Pivello, V.R., 2011. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. *Bio. Brasil*. 1, 12-25. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.102>.

Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P.A., Dickinson, R.E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., Myneni, R. B., 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110, 18110-18115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>.

Fuentes-Santos, I., Marey-Pérez, M.F., González-Manteiga, W., 2013. Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). *J. Environ. Manage.* 128, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.020>

Fundação Florestal, 2015. *Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Campos do Jordão*. 2015. <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/planos-de-manejo-pe-de-campos-do-jordao/> (accessed 01 September 2022).

Ganteaume, A., Jappiot, M., 2013. What causes large fires in Southern France. *For. Ecol. Manag.* 294, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.055>.

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O., 2018. The collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote. Sens. Environ.* 217, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>.

Guedes, B.J., Massi, K.G., Evers, C., Nielsen-Pincus, M., 2020. Vulnerability of small forest patches to fire in the Paraíba do Sul River Valley, southeast Brazil: Implications for restoration of the Atlantic Forest biome. *For. Ecol. Manag.* 465, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118095>.

Hardesty, J., Myers, R., Fulks, W., 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *G. W. F.* 22, 78-87.

IBAMA, 2002. *Plano de manejo do Parque Nacional Serra da Bocaina*. <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/extras/62-plano-de-manejo-e-monitorias.html> (accessed 01 September 2022).

IBGE, 2012. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. (accessed 10 November 2022).

ICMBIO, 2013. *Plano de manejo – Parque Nacional do Itatiaia*. https://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=3 (accessed 01 September 2022).

INPE, 2021. *Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais*. <http://www.inpe.br/queimadas> (accessed 15 September 2022).

Instituto Estadual de Florestas, 2009. *Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Papagaio*. <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/211-parque-estadual-da-serra-do-papagaio> (accessed 01 September 2022).

IPCC, 2023: *Summary for Policymakers*, in: Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-36.

Lamarque, P., Tappeiner, U., Turner, C., Steinbacher, M., Bardgett, R.D., Szukics, U., Schermer, M., Lavorel, S., 2011. Stakeholder perceptions of grassland ecosystem services in relation to knowledge on soil fertility and biodiversity. *Reg. Environ. Change*. 11, 791-804. <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0214-0>.

Leys, B., Marlon, J.R., Umbanhowar, C., Vannière, B., 2018. Global fire history of grassland biomes. *Ecol. Evol.* 8, 8831-8852. <https://doi.org/10.1002/ece3.4394>.

Marengo, J.A., Rusticucci, M., Penalba, O., Renom, M., 2010. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Climatic Change* 98, 509-529.

Mavsar, R., González-Cabán, A., Farreras, V., 2010. The importance of economics in fire management analysis, in: Silva, J.S., Rego, F.C., Fernandes, P.A.M., Rigolot, E. (Eds.), *Towards integrated fire management - outcomes of the European project Fire Paradox*. European Forest Institute, Joensuu, pp. 93-104.

Medeiros, M.B., Fiedler, N.C., 2004. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ci. Fl.* 14, 157-168. <https://doi.org/10.5902/198050981815>.

Meireles, L.D., Kinoshita, L.S., Shepherd, G.J., 2014. Composição florística da vegetação altimontana do distrito de Monte Verde (Camanducaia, MG), Serra da Mantiqueira Meridional, sudeste do Brasil. *Rodriguésia*. 65, 831-859.

MMA, 2004. Portaria nº 126, de 27 de maio de 2004. Estabelece Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira. Diário Oficial da União <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=111036> (accessed 01 September 2022).

Miranda, H.S., 2010. Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do Projeto Fogo. IBAMA/MMA, Brasília.

Moreira, M., 2017. Incêndio na Serra da Bocaina é controlado após destruir 1,2 mil hectares. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/incendio-na-serra-da-bocaina-e-controlado-apos-destruir-12-mil-hectares> (accessed 20 May 2023).

Myers, N., Mittermeier, R.A., da Fonseca, G.A., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>.

Mouillot, F., Field, C.B., 2005. Fire history and the global carbon budget: a 10x 10 fire history reconstruction for the 20th century. *Glob. Chang. Biol.* 11, 398-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00920.x>.

Nunes, M.T.O., Sousa, G.M., Tomzhinski, G.W., Oliveira-Junior, J.F., Fernandes, M.C., 2015. Variáveis condicionantes na susceptibilidade de incêndios florestais no parque nacional do Itatiaia. *Anu. do Inst. de Geocienc.* 38, 54-62. http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_54_62.

Pivello, V.R., 2011. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire. Ecol.* 7, 24-39. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>.

Pivello, V.R., Vieira, I.C.G., Christianini, A.V., Ribeiro, D.B., Menezes, D.S., Berlinck, C.N., Melo, F.P.L., Marengo, J.A., Tornquist, C.G., Tomas, W.M., Overbeck, G.E., 2021. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspect. Ecol. Conserv.* 19, 233-255. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>.

Portes, M.C.G., Safford, H., Behling, H., 2018. Humans and climate as designers of the landscape in Serra da Bocaina National Park, southeastern Brazil, over the last seven centuries. *Anthr.* 24, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.11.004>.

Rodrigues, S. 2017. Parque Estadual da Serra do Papagaio sofre com intensas queimadas. *O eco*. <https://oeco.org.br/noticias/parque-estadual-da-serra-do-papagaio-sofre-com-intensas-queimadas/> (accessed 10 May 2023).

Rodríguez-Martínez, A., Vitoriano, B., 2020. Probability-based wildfire risk measure for decision-making. *Mathematics* 8, 1-18. <https://doi.org/10.3390/math8040557>.

Roos, C.I., Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Cochrane, M., D'Antonio, C.M., DeFries, R., Mack, M., Johnston, F.H., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Moritz, M.A., Pyne, S., Scott, A.C., Swetnam, T.W., 2014. Pyrogeography, historical ecology, and the human dimensions of fire regimes. *J. Biogeogr.* 41, 833-836. <https://doi.org/10.1111/jbi.12285>.

Safford, H.D., 1999. Brazilian páramos I. Introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *The Journal of Biogeography* 26, 713-738.

Sansevero, J.B.B., Garbin, M.L., Sanchez-Tapia, A., Valladares, F., Scarano, F.R., 2020. Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest. *Perspect. Ecol. Conserv.* 18, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.12.004>.

Santana, L.D., Ribeiro, J.H.C., Berg, E.V.D., Carvalho, F.A., 2020. Impact on soil and tree community of a threatened subtropical phytophysiology after a forest fire. *Folia. Geobot.* 55, 81-93. <https://doi.org/10.1007/s12224-020-09367-3>.

São Paulo, 2020. Resolução SIMA nº 12, de 27 de fevereiro de 2020. Implanta e organiza os Polos Regionais da Operação Corta-Fogo nas Unidades de Conservação e demais Áreas Naturais Protegidas do Estado de São Paulo e dá outras providências. <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2022/07/resolucao-sima-012-20/> (accessed 30 August 2022).

Silva, C., Viana, I., Souza, D., Silva, S., Portella, A., Giongo, M., 2021. Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. *Sci. Fl.* 31, 1910-1929. <https://doi.org/10.5902/1980509854717>.

Silvério, D.V., Brando, P.M., Balch, J.K., Putz, F.E., Nepstad, D.C., Oliveira-Santos, C., Bustamante, M.M.C., 2013. Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* 368, 1-8. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0427>.

Souza Jr., C.M.Z., Shimbo, J., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W.M., de Oliveira, S.W., Rocha,

W.F., Fonseca, A.V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E.R., Vêlez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Paternost, F.F., Pareyn, F.G.C., Siqueira, J.V., Viera, J.L., Ferreira Neto, L.C., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R., Galano, S. Mesquita, V.V., 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sens.* 12, p. 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

Sühs, R.B., Giehl, E.L.H., Peroni, N., 2020. Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. *Sci. Rep.* 10, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57564-z>.

Tomzhinski, G.W., 2012. *Análise geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia*. Dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

UNEP, 2022. *Spreading like wildfire: The rising threat of extraordinary landscape fires*. United Nations. <https://www.unep.org/resources/report/spreading-wildfire-rising-threat-extraordinary-landscape-fires> (accessed 01 March 2023).

Van Der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S., Arellano Jr., A.F., 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chem. Phys.* 6, 3423-3441. <https://doi.org/10.5194/acp-6-3423-2006>.

Van Der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., Van Leeuwen, T.T., 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chem. Phys.* 10, 11707–11735. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>.

Vidal Jr, J.D., Le Roux, P.C., Johnson, S.D., Beest, M.T., Clark, V.R., 2021. Beyond the tree-line: The C3-C4 “grass-line” can track global change in the world’s grassy mountain systems. *Front. Ecol. Evol.* 9, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.760118>.

2.2 Artigo – Ferreira, M. P., Alcântara, E., Massi, K. G. Registro de espécies herbáceas em áreas de campos de altitude do sudeste do Brasil e implicações à sua conservação / *Herbaceous species recorded in high-altitude grasslands of southeast Brazil and implications to its conservation / Especies herbáceas registradas en pastizales de altura en el sureste de Brasil e implicaciones para su conservación*

Artigo elaborado de acordo com as normas do Periódico Biodiversidade Brasileira (Print version ISSN ISSN 2236-2886). Enviado para publicação em: 26/5/2023.

RESUMO

O bioma Mata Atlântica é um hotspot de biodiversidade com grande diversidade de ecossistemas, incluindo campos de altitude. Este ecossistema apresenta altas taxas de endemismo e estão sendo ameaçados por atividades antrópicas mesmo dentro de áreas protegidas. Este estudo teve como objetivo sistematizar informações sobre sua flora em quatro áreas protegidas no sudeste do Brasil, a fim de avaliar espécies comuns que poderiam ser utilizadas em esforços de restauração e espécies raras que necessitam de ações de conservação. Neste estudo, realizamos um levantamento de todas as espécies digitalizadas que ocorrem nos campos de altitude das áreas protegidas a partir de um dos conjuntos de dados vegetais digitalizados mais abrangentes do Brasil, o SpeciesLink. Registramos 381 espécies, distribuídas em 196 gêneros e 77 famílias. A maior riqueza de espécies foi observada no Parque Estadual da Serra do Papagaio (183 espécies), seguido pelo Parque Nacional do Itatiaia (182), Parque Nacional da Serra da Bocaina (94) e Parque Estadual de Campos do Jordão (38). Asteraceae foi a família com maior riqueza de espécies e *Baccharis* o gênero com mais espécies. A presença de endemismo foi observada em todas as áreas protegidas e espécies ameaçadas não foram observadas no Parque Estadual de Campos do Jordão. Encontramos 23 espécies comuns em pelo menos quatro áreas protegidas com menor risco de extinção local. Considerando que algumas dessas espécies podem estar ameaçadas, nosso trabalho destaca a importância de proteger e restaurar áreas degradadas de campos de altitude no Vale do Paraíba e na região da Mantiqueira.

Palavras-chave: Mata atlântica; Unidades de conservação; Conservação; Restauração.

ABSTRACT

The Atlantic Forest biome is a biodiversity hotspot with a large diversity of ecosystems, including high-altitude grasslands. This ecosystem have high rates of endemism, which are being threatened by anthropic activities, even inside protected areas. This study aimed to systematize information regarding its flora in four protected areas in southeast Brazil, in order to assess common species that could be used in restoration efforts, and rare species that need conservation actions. In this study, we conducted a survey of all digitized species occurring in the high-altitude grasslands of the protected areas from one of the most comprehensive digitized plant datasets in Brazil, the SpeciesLink. We recorded 381 species, distributed in 196 genera and 77 families. Highest species richness was observed in Serra do Papagaio State Park (183 species), followed by Itatiaia National Park (182), Serra da Bocaina National Park (94) and Campos do Jordão State Park (38). Asteraceae was the family with the highest species

richness and Baccharis the genera that had more species. The presence of endemism was observed in all protected areas and threatened species was not observed in Campos do Jordão State Park. We found 23 common species in at least four protected areas with a lower risk of local extinction. Considering that some of these species may be under threat, our work highlights the importance to protect and restore areas of degraded high-altitude grasslands in the Vale do Paraíba and Mantiqueira region.

Key-words: Atlantic forest; Protected areas; Conservation; Restoration.

RESUMÉN

El bioma del Bosque Atlántico es un punto crítico de biodiversidad con gran diversidad de ecosistemas, incluidos los pastizales de altura. Este ecosistema tiene altos índices de endemismo, siendo amenazado por las actividades humanas incluso dentro de las áreas protegidas. Este estudio tuvo como objetivo sistematizar información sobre su flora en cuatro áreas protegidas en el sureste de Brasil, con el fin de evaluar especies comunes y raras que podrían ser utilizadas en esfuerzos de restauración y conservación. En este estudio, evaluamos todas las especies digitalizadas que se encuentran en los pastizales de altura a partir de uno de los conjuntos de datos de plantas digitalizados más completos de Brasil, SpeciesLink. Registramos 381 especies, distribuidas en 196 géneros y 77 familias. La mayor riqueza de especies se observó en el Parque Estadual Serra do Papagaio (183 especies), seguido por Parque Nacional Itatiaia (182), el Parque Nacional Serra da Bocaina (94) y el Parque Estadual Campos do Jordão (38). Asteraceae fue la familia y Baccharis el género con mayor riqueza de especies. La presencia de endemismo se observó en todas las áreas protegidas y las especies amenazadas no se observaron en el Parque Estadual Campos do Jordão. Encontramos 23 especies comunes en al menos cuatro áreas protegidas con un menor riesgo de extinción local. Teniendo en cuenta que algunas de estas especies pueden estar amenazadas, nuestro trabajo destaca la importancia de proteger y restaurar áreas degradadas de pastizales de altura en Vale do Paraíba y en la región de Mantiqueira.

Palabras-clave: Bosque atlántico; Áreas protegidas; Conservación; Restauración.

1. Introduction

The Atlantic Forest biome, a biodiversity hotspot (Myers et al., 2000), originally covered an area equivalent to 1,315,460 km² from northeast through south Brazil (IBGE, 2012), including parts of Paraguay and Argentina. Due to intense deforestation and human disturbance that mostly occurred in the first half of the 19th century (Dean, 1996), only about 13% of Atlantic Forest biome native vegetation cover remains in Brazil (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2018). Nature reserves protect only 9% of the remaining forest (Ribeiro et al., 2009). This forest is home to about 5% of the world flora and 2% of endemic vascular plants (Stehmann et al., 2009), due to a large diversity of ecosystems, including lowland and montane forest, cloud forest, deciduous and semideciduous forest and high-elevation grasslands (IBGE, 2012).

The high-altitude grasslands (considered ecological refugees) occur on mountain peaks, in higher altitudes than 1200 meters with rocky outcrops, and have mostly grasses, herbs and shrubs (IBGE, 2012). This ecosystem is characterized by the non-development of forest formation due to climatic and pedological conditions (Aximoff, 2011). Its vegetation bears a strong resemblance to the Andes region, directly sharing 10 to 15% of plant species with a strong connection in relation to animal species (Safford, 2007).

High-altitude grasslands have high rates of endemism (Safford, 1999). Martinelli (1996) estimated that 11% of the vascular species were locally endemic in a high-altitude grassland in Itatiaia and 21% endemic to other grasslands. Caiafa and Silva (2005) found, in Serra do Brigadeiro state park, Minas Gerais, 81 vascular plants species, the majority being Orchidaceae and Asteraceae, with a high number of species exclusive to each environment. Alves and Kolbek (2010) verified 100 plant species restricted to the high-altitude grasslands. In high-altitude grasslands located in Mantiqueira, in Southeast Brazil, Meireles et al. (2014) observed 96 species exclusive to this formation, of which 53 shrubby, 5 arboreal and 71 herbaceous. The richest families were Asteraceae (27 species) and Fabaceae (14), followed by Cyperaceae (eight), Iridaceae (seven) and Melastomataceae (five). Among these species, a high proportion may be threatened. Moreira et al. (2020) observed 82 species (out of 2316) cited as threatened, following the IUCN categories (CR, EN or VU), seven data deficient (DD) and 15 classified as conservation priority in Itatiaia national park, southeastern Brazil, which has areas of high-altitude grasslands.

Although most of the high-altitude grasslands are located inside protected areas, they are being threatened by anthropic activities (Gonçalves and Santos, 2018). Degradation of

these areas may have been intensified by mountain tourism and camping and trekking activities carried out by large groups of people, guides who are not trained and who are not part of associations of registered guides (reports from the *Boletim Informativo das Cristas da Mantiqueira*), as well as the recurring occurrence of fire. Protected areas in Brazil are divided in two categories, full protection ones, where natural resources may be only indirectly used, as in recreation and environmental education activities, and sustainable use ones, where direct use of resources are done, as extraction, low intensity agriculture and private rural lands are permitted (BRASIL, 2000). Are examples of high-altitude grasslands located in full protection ones: Serra da Bocaina, Serra do Caparaó and Itatiaia national parks, Serra do Papagaio, Serra do Brigadeiro, Campos do Jordão and Serra do Mar state parks (nucleus Cunha and Curucutu), and are examples of high-altitude grasslands located in sustainable use ones: environmental protection area (APA) of Serra da Mantiqueira, the (MONA) Pedra do Baú and Mantiqueira natural monuments and APA São Francisco Xavier. Parks are usually smaller but more protected, while APAs are larger but less protected, due to the activities permitted.

Given the importance of protected areas for the conservation of the high-altitude grasslands, we aimed to systematize information regarding its flora in four protected areas in southeast Brazil, in order to assess common species that could be used in restoration efforts, and rare species that need conservation actions.

2. Materials and methods

2.1. Study area

The study was carried out in four protected areas (PA) with high-altitude grasslands, two national parks (PARNA) and two state parks (PE) (Table 1), located in Southeast Brazil (Figure 1), in São Paulo, Rio de Janeiro and Minas Gerais states, in the Atlantic Forest biome.

Table 1. Size, date of creation, coordinates, soil, vegetation, climate, altitude and location of each studied protected area in Brazil.

Protected area	Size (ha)	Creation	Coordinates	Soil	Vegetation	Climate	Altitude	Municipalities
PE Campos do Jordão	8,341	Lei Estadual nº 11.908 / 27 de março	22°41'26.55"S / 45°29'35.28"W	Argissols, Cambisols, Latossols,	Mixed Ombrophilous Forest; Dense Ombrophilous	Temperate, with mild summer	1500-2000m	SP (Campos do Jordão)

		de 1941		Neosols	lous Forest; High- altitude grasslands ; anthropized areas with reforestation of Pinus sp. and other exotic species.			
PE Serra do Papagaio	22,9 17	Decreto Estadua l n° 39.793 / 05 de agosto de 1998	22°08'31.85 ''S / 44°43'43.40 ''W	Espodosols, Cambisols, Neosols, Organosols	Nebular Forest; high altitude grasslands	Altitude subtropical, with dry winter and mild summer	1160- 2340m	MG (Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Itamonte, Pouso Alto)
PARNA do Itatiaia	28,0 84	Decreto Federal n° 1.713 / 14 de junho de 1937	22°22'22.03 ''S / 44°42'14.27 ''W	Argisols, Cambisols, Latosols	High Montane Dense Ombrophilous Forest; Montane Semideciduous Forest; Campos	Altitude subtropical, with dry winter and mild summer	540- 2791m	MG (Bocaina de Minas, Itamonte); RJ (Itatiaia, Resende)

Rupestres;
high
altitude
grasslands

PARNA da Serra da Bocaina	104, 000	Decreto Federal nº 68.172 / 4 de fevereir o de 1971	22°44'14.34 ''S / 44° 36'56.59''W	Argisol s, Cambis ols, Espodo sols, Latosol s, Neosol s	High altitude grassland, High Montane Dense Ombrophilous Forest, Montane Dense Ombrophilous Forest, Submontane Dense Ombrophilous Forest, Restinga	Temperat e, with mild summer	0-2095m	SP (São José do Barreiro, Ubatuba, Cunha, Areias); RJ (Paraty, Angra dos Reis)
------------------------------------	-------------	--	---	--	--	---------------------------------------	---------	--

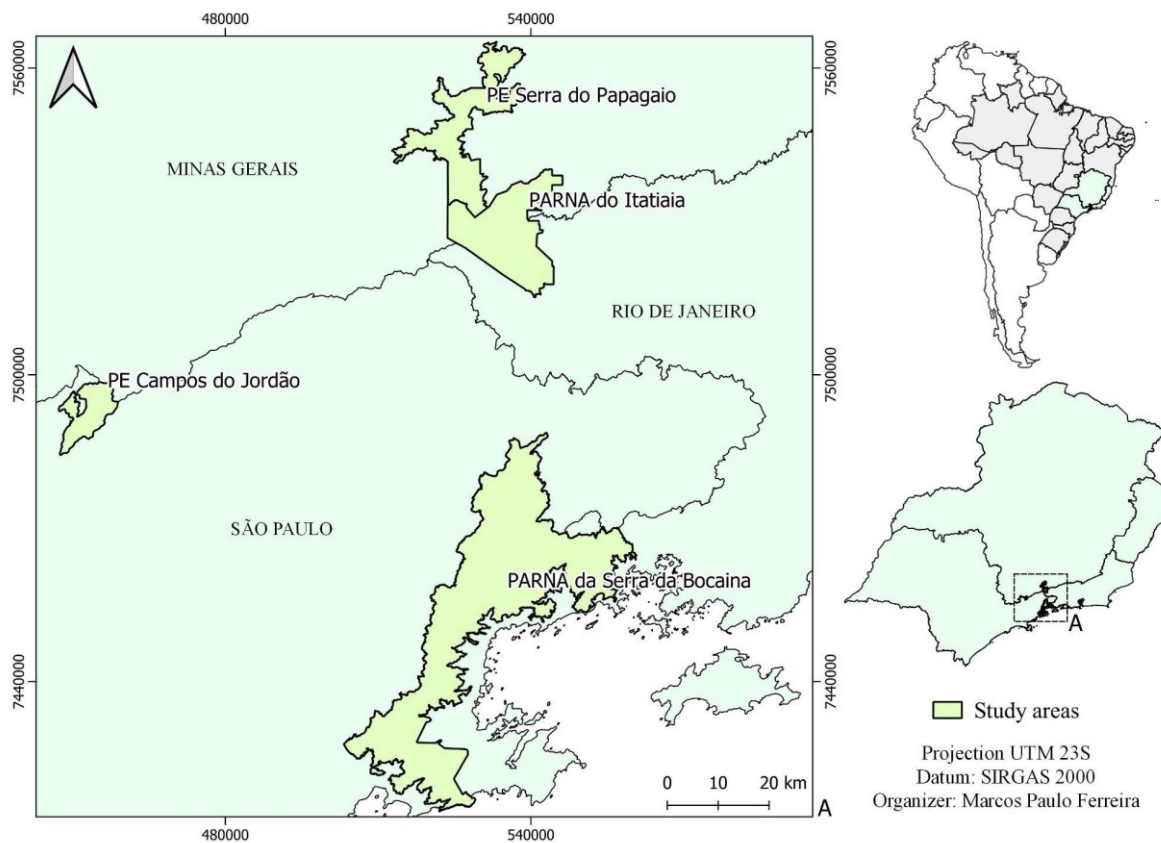


Figure 1. Location of the study sites (PE - State park; PARNA - National park) in Minas Gerais, Rio de Janeiro and São Paulo states in Brazil.

PE Campos do Jordão is a priority region for conservation (FAPESP and Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2007) and its management plan is one of the first created in Brazil (Fundação Florestal, 2015). *PARNA do Itatiaia*, the first national park of Brazil is part of Atlantic Forest Biosphere Reserve and of Mosaic of Protected Areas of Serra da Mantiqueira, which is an instrument established by SNUC to strengthen integrative and participative management of areas (Tomzhinski, 2012). *PARNA da Serra da Bocaina*, considered an important fragment of Atlantic Forest, has a large biodiversity and several ecosystems, in addition to a territory with high endemism, ecological refugees and endangered species (IBAMA, 2002). Lastly, *PE da Serra do Papagaio* integrates the Ecological Corridor of Mantiqueira and the Serra da Mantiqueira Environmental Protection Area (APA) protecting, along with *PARNA do Itatiaia*, one of the largest fragments of native vegetation of the Mantiqueira (Instituto Estadual de Florestas, 2009). *PARNA da Serra da Bocaina* is the largest protected area and *PE Campos do Jordão*, the smallest (Table 1). All of them are under temperate and subtropical climate (Alvares et al, 2015; EMBRAPA, 2022), with high-altitude grasslands and altitudes reaching 2791 m (Table 1).

2.2. Database

We conducted a survey of all digitized species occurring in the high-altitude grasslands of the four protected areas from one of the most comprehensive digitized plant datasets in Brazil, the SpeciesLink (<http://specieslink.net>), with plant records of the whole country's herbaria. This online portal includes 40 biological collections and more than 16 million digitized herbarium records.

2.3. Database search and filtering

In the speciesLink search tool, we used the words “campo” and “altitude” (which means grassland and high-altitude, respectively) and, after, we filtered only those that mentioned each of the four studied protected areas as collection sites. These records were cleaned and validated, which included the removal of duplicated specimens across herbaria, invalid geographical coordinates, duplicated geographical coordinates and spatial outliers within species.

Afterwards, in the R Software where, through its processing using the 'flora' package version 0.3.4, additional information was searched and inserted for each species, such as updated nomenclature, vegetation type and domain, in addition to life form, endemism and conservation status in the database of the Flora e Funga do Brasil (REFLORA, 2020) (Figure 2)

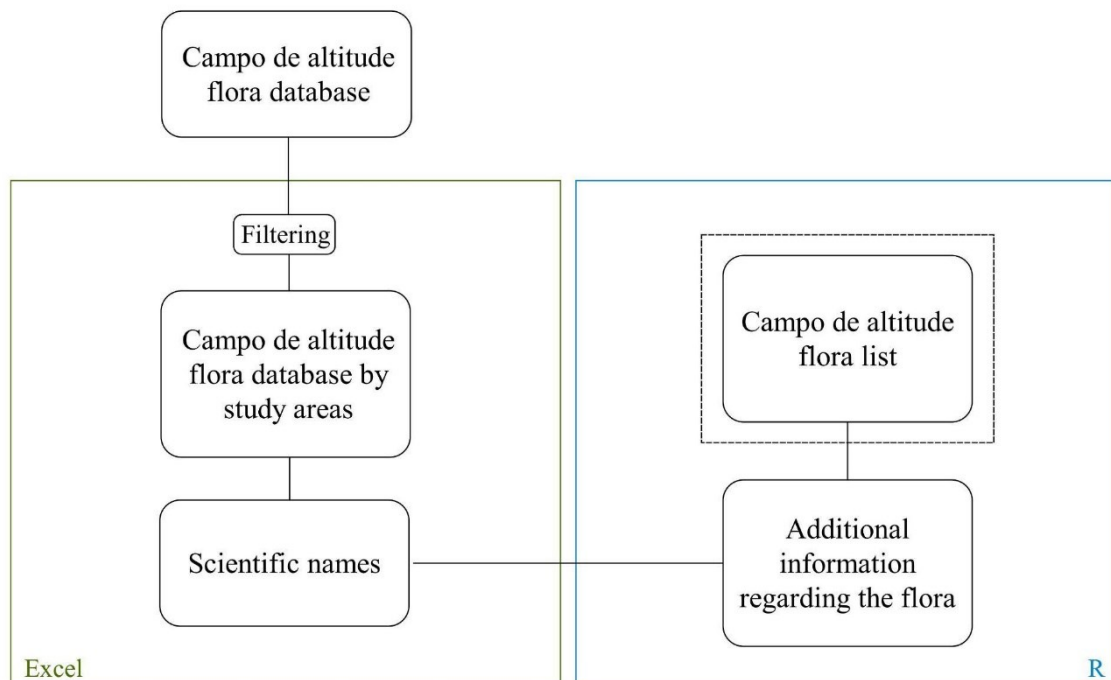


Figure 2. Workflow of the used data and processing softwares.

3. Results

Considering the four protected areas studied, 381 species were registered, distributed in 196 genera and 77 families. Highest species richness was in PE Serra do Papagaio (183 species), followed by PARNA do Itatiaia (182), PARNA Serra da Bocaina (94) and PE Campos do Jordão (38).

Regarding specific richness in each protected area, we observed families with highest richness in PARNA do Itatiaia being Asteraceae (26 species), followed by Ericaceae and Polypodiaceae (9), Lycopodiaceae (7), Dicranaceae, Poaceae and Melastomataceae (6), Eriocaulaceae, Iridaceae, Lamiaceae, Orchidaceae and Pteridaceae (5), Dennstaedtiaceae, Fabaceae and Polytrichaceae (4), Berberidaceae, Bryaceae, Campanulaceae, Dryopteridaceae, Piperaceae and Xyridaceae (3). Among the remaining families, 16 had two species e 27 had one species recorded. The genera with the highest number of species were: *Baccharis* (15 espécies), *Gautheria* (5), *Campylopus*, *Leandra*, *Polystichum* e *Sisyrinchium* (4), *Berberis*, *Chascolytrum*, *Grazielia*, *Lytoneuron*, *Melpomene*, *Mimosa*, *Paepalanthus*, *Peperomia*, *Phlegmariurus*, *Xyris* (3). Among the remaining, 18 genera had two species and 80 had only one species.

In PE Serra do Papagaio, we verified Asteraceae (28 species), followed by Melastomataceae (13), Orchidaceae (12), Ericaceae, Polypodiaceae (9), Poaceae, Xyridaceae (8), Lamiaceae, Lycopodiaceae (7), Eriocaulaceae and Fabaceae (6), Myrtaceae and Verbenaceae (5), Cyperaceae and Gleicheniaceae (4), Campanulaceae, Dryopteridaceae, Iridaceae, Orobanchaceae, Polygalaceae, Pteridaceae and Solanaceae (3). Among the remaining families, 8 had 2 species e 14 had 1 species. Regarding to the genera, the ones that had more species were: *Xyris* (9), *Baccharis* (8), *Habenaria* (6), *Pleroma* e *Senecio* (5), *Gaultheria*, *Myrcia* and *Paepalanthus* (4), *Gaylussacia*, *Lytoneuron*, *Mimosa*, *Pleopeltis* and *Polygala* (3), 20 genera a had 2 species and 83 only 1 species.

In PARNA da Serra da Bocaina, Asteraceae (22 species), Melastomataceae (9), Ericaceae (7), Solanaceae and Polypodiaceae (4), Fabaceae, Orobanchaceae, Poaceae and Rubiaceae (3), 8 families had 2 species and 20 had 1 species. The genera with more species were: *Baccharis* (9), *Agarista*, *Gaylussacia*, *Leandra* and *Miconia* (3), 9 genera had 2 species e 56 only 1 species.

In PE Campos do Jordão, Asteraceae (16 species), 5 families had two species and 12 only one species. Regarding the genera, *Baccharis* (8 species), being one genera with 2 species e 28 with one species.

The most sampled life forms for each protected area were: PARNA do Itatiaia, herbs (89), shrub (21), shrub/undershrub (19); PE Serra do Papagaio, herbs (95), shrub/undershrub (22), shrub (18); PARNA da Serra da Bocaina, herbs (42), shrub/undershrub (13), shrub and shrub/tree (11); PE Campos do Jordão, herb (13), shrub/undershrub (7), shrub (6).

PARNA do Itatiaia had the highest level of endemism and number of endangered species, followed by PE Serra do Papagaio and PARNA da Serra da Bocaina (Table 2). In PE Campos do Jordão, none of the sampled species were classified as threatened.

Table 2. Endemism and threatened species (with percentage according to the total number of species) within studied protected areas. PE: State park and PARNA: National park.

	PE Campos do Jordão	Parna Serra da Bocaina	Parna Itatiaia	PE Serra do Papagaio
Endemism (%)	19 (50.0)	36 (38.30)	105 (55.74)	102 (57.69)
Threatened species (%)	-	1(1.1)	17 (9.3)	5 (2.7)

In total, 69 species were common to two protected areas studied, 22 to three and only one to four sites (Table 3).

Table 3. List of common species to at least three of the studied protected areas. PE: State Park and PARNA: National Park.

Family	Specie	Life form	Threat	PE Camp os do Jordão	PARN A da Serra da Bocai na	PE Serra do Papaga io	PARN A do Itatiai a
Asteraceae	<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	Herb	NA	x		x	x
	<i>Baccharis crispa</i> Spreng.	Shrub	NA	x	x		x
	<i>Baccharis glaziovii</i> Baker	Shrub	NA	x	x		x
	<i>Baccharis tarchonanthes</i> DC.	Shrub	NA	x	x	x	x

	<i>Grazielia intermedia</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	Shrub/ Undershru b	NA		x	x	x
	<i>Inulopsis scaposa</i> (DC.) O.Hoffm.	Herb	LC	x	x	x	
Blechnaceae	<i>Lomariocycas schomburgkii</i> (Klotzsch) Gasper & A.R. Sm.	Herb	NA		x	x	x
Campanulaceae	<i>Lobelia camporum</i> Pohl	Herb	NA	x		x	x
Ericaceae	<i>Agarista hispidula</i> (DC.) Hook. ex Nied.	Shrub/ Undershru b	NA	x		x	x
	<i>Gaultheria serrata</i> (Vell.) Sleumer ex Kin.-Gouv.	Shrub/ Undershru b	NA		x	x	x
	<i>Gaylussacia amoena</i> Cham.	Shrub/ Undershru b	NA	x	x		x
Euphorbiaceae	<i>Croton dichrous</i> Müll.Arg.	Shrub/ Undershru b	NA	x		x	x
Gleicheniaceae	<i>Dicranopteris nervosa</i> (Kaulf.) Maxon	Herb	NA		x	x	x
	<i>Sticherus pruinus</i> (Mart.) Ching	Herb	NA	x		x	x
Lycopodiaceae	<i>Diphasiastrum thyoides</i> (Willd.) Holub	Herb	NA		x	x	x
	<i>Lycopodium clavatum</i> L.	Herb	NA	x	x	x	x
	<i>Phlegmariurus reflexus</i>	Herb	NA	x		x	x

Onagraceae	(Lam.) B.Øllg. <i>Fuchsia regia</i> (Vell.) Munz	Shrub/ Liana/ Climber	LC		x	x	x
Orobanchaceae	<i>Esterhazyia macrodonta</i> (Cham.) Benth.	Shrub/ Undershrub	NA	x	x	x	
Piperaceae	<i>Peperomia galioides</i> Kunth	Herb	NA		x	x	x
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis macrocarpa</i> (Bory de Willd.) Kaulf.	Herb	NA	x	x	x	x
	<i>Serpocaulon catharinae</i> (Langsd. & Fisch.) A.R.Sm.	Herb	NA		x	x	x

4. Discussion

Our results were corroborated by other studies in areas of high-altitude grasslands where Asteraceae was predominant (Freitas and Sazima, 2006; Salimena et al., 2013; Meireles et al., 2014; Aximoff et al., 2016). This family is dominant in grassland formations in tropical mountains of South America (Joly, 1967; Campos et al., 2019), in tropical savannas (Fidelis and Zirondi, 2021), also occurring widely in several ecosystems around the world (Judd et al., 2009). Melastomataceae was the second most frequent family found in the studied high-altitude grasslands. This family occurs throughout the country, being more common in the Amazon, Cerrado and Atlantic Forest, including its grasslands (Goldenberg et al., 2012). Other studies also verified this family in the second position in relation to the number of species (Salimena et al., 2013, Aximoff et al., 2014, Meireles et al., 2014; Tinti et al., 2015). The genus *Baccharis* had a high number of species in the four protected areas studied, which corroborates studies by Campestrini (2014) and Meireles et al. (2014) that reported that this was the most representative genus in mountainous areas and the genus importance in South America (90% of *Baccharis* species occur in the region: Budel et al., 2005). Accordingly, herbs, shrubs and undershrubs, were the most common life forms, which are linked to grassland characteristics (IBGE, 2012) and to Asteraceae dominance.

Parna Itatiaia had the highest level of endemism and threatened species, followed by

PE da Serra do Papagaio, Parna da Serra da Bocaina and PE Campos do Jordão. Special attention should be given to these protected areas in relation to anthropic fire occurrence and fire fighting, which can lead to local extinctions if fires occur at different fire regimes (i.e. higher frequency and intensity) when compared to the natural ones for these areas. Although paleofires in high-altitude grasslands have been documented (Behling and Safford, 2010), present occurrences of fire of natural origin are rare and nearly invariably take place in the transition between dry and wet seasons (Aximoff, 2011). Plus, in a climate change scenario in which extreme events, including significant temperature increases and extension of drought (Marengo et al. 2010, IPCC 2023), are more likely the risk of fire incidents will increase respectively (Aximoff et al., 2016). Thus, conservation efforts should prioritize rare, endemic and endangered species in the four protected areas.

These 23 species found in at least three of the CUs studied have a lower risk of local extinction and should be prioritized in efforts to restore areas of degraded high-altitude grasslands in the Vale do Paraíba and Mantiqueira region. Ecological restoration can be defined as a process to help restore an ecosystem that has been degraded, damaged or destroyed (SER, 2004). The United Nations Decade on Ecosystem Restoration—a global call for the restoration of ecosystems—aims to protect biodiversity, secure ecosystem services, mitigate climate change and enhance human livelihoods (<https://www.decadeonrestoration.org/>). Even though the largest part of Brazil's natural vegetation is forest, savannas and grasslands environments (e.g. high-altitude grasslands) have been much neglected in conservation and restoration due to a general lack of concern with non-forest vegetation (Overbeck et al., 2015; Silveira et al., 2020). In this sense, the list of common species provided in this study could be used in restoration of these ecosystems and is much needed.

References

Aximoff, I. O que perdemos com a passagem do fogo pelos campos de altitude do estado do Rio de Janeiro. Biodiversidade Biológica. 2011; 2: 180-200.

Aximoff IA, Alves RG, Rodrigues RDEC. Campos de altitude do Itatiaia: aspectos ambientais, biológicos e ecológicos. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, 2014. Ministério da Agricultura - Serviço Florestal.

Aximoff I, Nunes-Freitas, AF, Braga JMA. Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. Oecologia Australis. 2016; 20(2): 200-218.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 2013; 22(6): 711-728.

Alves RJV, Kolbek J. Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera?. *Plant Ecology*. 2010; 207: 67-79, 2010.

Behling H, Safford HD. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Global Change Biology*. 2010; 16(6): 1661-1671.

Budel JM, Duarte MR, Santos, CAM et al. O progresso da pesquisa sobre o gênero *Baccharis*, Asteraceae, I - Estudos Botânicos. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2005; 15(3): 268-271.

Caiafa AN, Silva AF. Composição florística e espectro biológico de um campo de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais - Brasil. *Rodriguésia*. 2005; 56(87): 163-173.

Campos L, Moro MF, Roque N. Biogeographical Review of Asteraceae in the Espinhaço Mountain Range, Brazil. *The Botanical Review*. 2019; (85): 293-336.

Capestrini, S. Aspectos florísticos, parâmetros fitossociológicos e ecológicos nos campos de palmas, SC/PR [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2014. 218 f.

Dean, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. 1. ed. São Paulo: Cia. das Letras; 1996.

EMBRAPA. Clima, 2022. [acesso em 15 dez 2022]. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>.

FAPESP; Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Guias da biodiversidade paulista, 2007. [acesso em: 28 abril 2023]. Disponível em: [<https://bv.fapesp.br/linha-do-tempo/1769/mapas-lei-conservacao-biodiversidade-paulista/>].

Fidelis A, Zironi HL. And after fire, the Cerrado flowers: A review of post-fire flowering in a tropical savanna. *Flora*. 2021; 280: 1-7.

Freitas L, Sazima M. Pollination biology in a tropical high-altitude grassland in Brazil: interactions at the community level. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 2006; 93: 465-516.

Fundação Florestal. Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Campos do Jordão, 2015 [acesso em 01 set 2022]. Disponível em : <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/planos-de-manejo-pe-de-campos-do-jordao/>.

Fundação SOS Mata Atlântica, INPE. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2017-2018. Relatório Técnico - 2018.* [acesso em 20 ago 2022] Disponível em: <https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>.

Goldenberg R, Baumgratz JFA, Souza MLDEL R. *Taxonomia de Melastomataceae no Brasil: retrospectiva, perspectivas e chave de identificação para os gêneros.* *Rodriguesia.* 2012; 63(1):145-161.

Gonçalves MTA, Santos ND. *Campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: um hotspot para briófitas.* *Biodiversidade Brasileira.* 2018; 2: 90-105.

IBAMA. *Plano de manejo do Parque Nacional Serra da Bocaina.* 2002. [acesso em 01 set 2022]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/extras/62-plano-de-manejo-e-monitorias.html>.

IBGE. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira.* 2012. [acesso em 10 nov 2022]. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>.

IPCC. *Summary for Policymakers.* In: *Core Writing Team, Lee H, Romero J. Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva: Switzerland; 2023. P. 1-36.

Instituto Estadual de Florestas. *Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Papagaio.* 2009. [acesso em 01 set 2022]. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/211-parque-estadual-da-serra-do-papagaio>.

Joly, A. B. *Botânica: introdução a taxonomia vegetal.* 7a ed. São Paulo: Cia Editora Nacional; 1967.

Judd WS, Campbell CS, Kellogg EA, Stevens PF, Donoghue MJ. *Sistemática Vegetal - Um enfoque filogenético.* 3a. ed. Porto Alegre: Artmed; 2009.

Martinelli, G. *Campos de Altitude.* Rio de Janeiro: Editora Index; 1996.

Marengo JA, Rusticucci M, Penalba O, Renom M. *An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends.* *Climatic Change.* 2010; 98: 509-529.

Meireles LD, Kinoshita LS, Shepherd GJ. *Composição florística da vegetação altimontana do distrito de Monte Verde (Camanducaia, MG), Serra da Mantiqueira Meridional, sudeste do Brasil.* *Rodriguesia.* 2014; 65(4):831-859.

Moreira MM, CARRIJO TT, Alves-Araújo, A et al. Using online databases to produce comprehensive accounts of the vascular plants from the Brazilian protected areas: The Parque Nacional do Itatiaia as a case study. *Biodiversity Data Journal*. 2020; 8:1-21.

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000; 403: 853-858.

Overbeck GE, VÉLEZ-MARTIN E, SCARANO FR et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Biodiversity Letter*. 2015; 21(12): 1455-1460.

Presidência da República (Brasil). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. [Internet]. *Diário Oficial da União*. 2000 jul. 19. [citado em 2023 maio 20]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm

REFLORA - Herbário Virtual, 2020. [acesso em 12 dez 2022]. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>.

Ribeiro, M. C. et. al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 2009; 142(6): 1141-1153.

Salimena FRG, Matozinhos CN, Abreu, NLDE et al. Flora fanerogâmica da Serra negra, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguesia*. 2013; 64(2): 311-320.

Safford HD Brazilian páramos I. Introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *The Journal of Biogeography*. 1999; 26: 713-738.

Safford, H. D. Brazilian páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography*. 2007; 34: 1701–1722.

Society for Ecological Restoration International [SER]. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Tucson: SER; 2004.

Silveira, F. A. O. et al. Myth-busting tropical grassy biome restoration. *Restoration Ecology*, v. 28, n. 5, p. 1067-1073, 2020.

Stehmann JR, Forzza RC, Salino A, Sobral M, Da Costa DP, Kamino LHY. Diversidade taxonômica na Floresta Atlântica. In: Stehmann JR, Forzza RC, Salino A, Sobral M, Costa DP, Kamino LHY. *Plantas da Floresta Atlântica*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2009. P. 3-12.

Tinti BV, Schaefer CERG, Nunes JA et al. Plant diversity on granite/gneiss rock outcrop at Pedra do Pato, Serra do Brigadeiro State Park, Brazil. *Check List*. 2015; 11(5): 1-8.

Tomzhinski GW Análise geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. [Dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2012. 137 f.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da tendência de aumento na área de campos de altitude, não significa que não existam pressões relevantes neste ecossistema para a sua degradação relacionado com a ocorrência de incêndios. O fogo é um evento recorrente nos campos de altitude, refletindo uma intensa atividade antrópica no entorno das áreas protegidas, como mostramos. Um entendimento mais profundo sobre a ocorrência de incêndios passados e atuais nesta vegetação é fundamental para prevenir e combater incêndios ilegais, bem como desenvolver metas claras para o manejo do fogo (PIVELLO et al., 2021).

Houve alguns anos que ocorreram grandes eventos de incêndios nas áreas protegidas que foram amplamente divulgados pela mídia, causados principalmente por fatores humanos, que revelaram o conflito que existe entre as áreas protegidas e seu entorno. Além disso, foi observada maior frequência de incêndios nas áreas próximas aos limites dos parques, o que revelou fatores externos de ignição. Durante a estação seca, a ocorrência de fogo está relacionada a causas humanas através das práticas agrícolas, onde os pecuaristas utilizam o fogo para renovar o pasto.

Em relação à flora, tanto o Parque Nacional do Itatiaia quanto o Parque Estadual da Serra do Papagaio apresentaram o maior nível de endemismo e espécies ameaçadas de extinção. Tal riqueza pode estar associada ao fato do Parque Estadual da Serra do Papagaio possuir campos de altitude em dois ecossistemas distintos: afloramentos rochosos (menos densos e com menor biomassa) e formações campestres (mais densas e com maior biomassa). Porém, também é possível que as queimadas ocorridas nessas unidades de conservação estejam sendo responsáveis pela manutenção dessa diversidade de espécies, como já demonstraram outros estudos em áreas queimadas de Cerrado e Campos (FIDELIS; PIVELLO, 2011). Além disso, o Parque Nacional do Itatiaia tem sido alvo de queimadas prescritas por equipes do Prevfogo (Ibama), sendo possível que essas queimadas também estejam contribuindo para a manutenção da alta biodiversidade de plantas nas áreas de campos de altitude desta unidade de conservação (AXIMOFF, 2011).

Por outro lado, como observamos que as áreas de campos de altitude da Serra da Bocaina e da Serra do Papagaio foram as mais ameaçadas pelo fogo, as espécies endêmicas verificadas nessas duas áreas (36 e 102, respectivamente) estão em perigo de extinções locais, caso os incêndios ocorram com maior frequência e intensidade do que no regime natural de queima.

Encontramos 23 espécies comuns em pelo menos três das unidades de conservação estudadas com menor risco de extinção local e que devem ser priorizadas nos esforços de recuperação de campos de altitude degradados na região do Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira. A restauração ecológica pode ser definida como um processo para ajudar a restaurar um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL, 2004).

O conhecimento integrado sobre a distribuição do fogo em campos de altitude de diferentes regiões do Brasil e como essas áreas se comportam sob um regime de fogo natural alterado era escasso até o presente estudo. Assim, incentivamos a investigação através de campanhas de campo para melhor compreensão deste tema em outras regiões com realidades diferentes ou semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A. L.; GRELLE, C. E. V.; VALE, M. M.; RANGEL, T. F. Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, v. 8, p. 194-196, 2010.
- AXIMOFF, I. O que perdemos com a passagem do fogo pelos campos de altitude do estado do Rio de Janeiro. **Biodiversidade Biológica**, v. 2, p. 180-200, 2011.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 129, p. 407-422, 1997.
- BEHLING, H. et al. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in the Serra da Bocaina, southeastern Brazil. **Quaternary International**, v. 161, n. 1, p. 22-31, 2007.
- BEHLING, H.; SAFFORD, H. D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro state, southeastern Brazil. **Global Change Biology**, v. 16, n.6, p. 1661-1671, 2010.
- BÉLLARD, C. et al. Will climate change promote future invasions?. **Global Change Biology**, v. 19, p. 3740–3748, 2013.
- BERTELSMEIER, C.; LUQUE, G.M.; COURCHAMP, F. Increase in quantity and quality of suitable areas for invasive species as climate changes. **Conservation Biology**, v. 27, p. 1458–1467, 2013.
- BRADE, A. C. A flora do Parque Nacional do Itatiaia. **Boletim do Parque Nacional do Itatiaia**, v. 5, p. 1-114, 1956.
- CAÚLA, R. H. et al. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497-1508, 2015.
- COUTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 44, p. 7-23, 1980.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; LOUZADA, M. A. P. Focos de calor na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 669-677, 2017.
- COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913–919, 2003.
- DUSÉN, P. K. H. Contribuições para a flora do Itatiaia. **Boletim do Parque Nacional do Itatiaia**, v. 4, p. 6-91, 1955.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 12-25, 2011.

GUEDES, B. J. et al. Vulnerability of small forest patches to fire in the Paraíba do Sul river valley, southeast Brazil: implications for restoration of the Atlantic Forest biome. **Forest Ecology and Management**, v. 465, p. 1-11, 2020.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **George Wright Forum**, v. 22, n. 4, p. 78-87, 2005.

HART, E. et al. Use of machine learning techniques to model wind damage to forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 265, p. 16-29, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2021. **Portal do monitoramento de queimadas e incêndios florestais**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 15 set. 2022.

IRLAND, L. C. Extreme value analysis of forest fires from New York to Nova Scotia, 1950–2010. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 150-157, 2013.

KENNARD, D. K. et al. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 162, p. 197–208, 2002.

KÖRNER, Christian. **Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1999.

LEUENBERGER, M. et al. Wildfire susceptibility mapping: deterministic vs. stochastic approaches. **Environmental Modelling & Software**, v. 101, p. 194–203, 2018.

LIMA, G. S. et al. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 113-122, 2018.

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 4, p. 587-597, 2007.

MEGGERS, B. J. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. **Climate Change**, v. 28, p. 321–338, 1994.

MORRISON, J. H. Caring for country: indigenous people managing country using fire, with particular emphasis on northern Australia. In: INTERNATIONAL WILDLAND FIRE CONFERENCE, 9., 2014, Sydney. **Abstract and Papers...** Sydney: ISDR, 2014.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000.

NOBRE, Carlos Alberto; MARENGO, Jose Antonio; SOARES, Wagner Rodrigues. **Climate change risks in Brazil**. Geneve: Springer, 2019.

NUNES, M. T. et al. Variáveis condicionantes na susceptibilidade de incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 54-62, 2015.

OLIVEIRA, M. V. N.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Quantificação do material combustível em fragmento de Mata Atlântica no nordeste brasileiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p.1-8, 2018.

PEREZ-GARCIA, N. et al. Drastic reduction in the potential habitats for alpine and subalpine vegetation in the Pyrenees due to twenty-first century climate change. **Regional Environmental Change**, v. 13, p. 1157-69 2013.

PIVELO, V. R. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233-255, 2021.

RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B. M. O.; SCARANO F. R. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 3, n. 4, p. 623-639, 2007.

SAFFORD, H. D. Brazilian Páramos I. Introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. **The Journal of Biogeography**, v. 26, p. 713-738, 1999.

SAFFORD, H. D. Brazilian Páramos II. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. **Journal of Biogeography**, v. 26, p. 713-737, 1999.

SANTOS, A. C. A.; NOGUEIRA, J. S. Análise do material particulado no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 254-264, 2015.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P.; MARTINELLI, G. Climate change and "campos de altitude": forecasts, knowledge and action gaps in Brazil. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 2, p. 139-144, 2016.

SEGADAS-VIANNA, F.; DAU, L. Ecology of the Itatiaia range, southeastern Brazil - climates and altitudinal climatic zonation. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 53, p. 31-53. 1965.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL – SER. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: SER; 2004.

SILVA, V. F. et al. Impacto do fogo no componente arbóreo de uma Floresta Estacional Semidecídua no município de Ibituruna, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 701-716, 2005.

SILVA, R. A. Incêndio Florestal. In: TOCCHETTO, D. **Perícia Ambiental Criminal**. Campinas: Millennium, 2014. p. 351-406.

SILVÉRIO, D. V. et al. Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native Cerrado and exotic pasture grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 368, n. 1619, p. 1-8, 2013.

SPEHN, E.; KÖRNER, C. **Global mountain biodiversity assessment (GMBA): a global diversitas network**. Abstract of poster presentation at the eighth meeting of the subsidiary body on scientific, technical and technological advice of the convention on biological diversity. Montreal: United Nations Environment Programme, 2005.

UNITED NATIONS. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030**. United Nations, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 05 nov. 2022.

VERÍSSIMO, P., N.; SAFFORD, H. D.; BEHLING, H. Holocene vegetation and fire history of the Serra do Caparaó, SE Brazil. **The Holocene**, v. 22, n. 11, p. 1243-1250, 2012.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. **Early warnings for all initiative scaled up into action on the ground. 2023.** Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/early-warnings-all-initiative-scaled-action-ground#:~:text=The%20Early%20Warnings%20For%20All%20Initiative%20>. Acesso em: 05 nov. 2022.

ZAITSEV, A. S. et al. Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review. **Applied Soil Ecology**, v. 98, p. 261-271, 2016.