

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA
CURSO CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Fernando da Silva Rosa

Distúrbios causados pelo manejo com pastejo e fogo alteram a distribuição de uma espécie-chave e a dinâmica floresta-campo na região altomontana do Sul do Brasil

[Florianópolis]

[2020]

Fernando da Silva Rosa

Distúrbios causados pelo manejo com pastejo e fogo alteram a distribuição de uma espécie-chave e a dinâmica floresta-campo na região altomontana do Sul do Brasil

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Biologia do Centro de ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. GIEHL, Eduardo Luís Hettwer, Dr.

Coorientador: Prof. SÜHS, Rafael Barbizan, Dr.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Fernando da Silva

Distúrbios causados pelo manejo pastejo e fogo alteram a distribuição de uma espécie-chave e a dinâmica floresta campo na região altomontana do Sul do Brasil. / Fernando da Silva Rosa ; orientador, Eduardo Luis Hettwer Giehl Giehl, coorientador, Rafael Barbizan Suhs, 2020.

32 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Araucaria angustifolia. 3. Estrutura populacional. 4. Campos de altitude. 5. Floresta ombrófila mista.. I. Giehl, Eduardo Luis Hettwer Giehl. II. Suhs, Rafael Barbizan. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Fernando da Silva Rosa

Distúrbios causados pelo manejo com pastejo e fogo alteram a distribuição de uma espécie-chave e a dinâmica floresta-campo na região altomontana do Sul do Brasil

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciado em Ciências Biológicas” e aprovado em sua forma final pelo Curso Biologia

Florianópolis, 12 de Outubro de 2020.

Prof. Carlos Roberto Zanetti, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Eduardo Luís Hettwer Giehl, Dr.
Orientador
Depto de Ecologia e Zoologia, CCB, UFSC

Prof. Fábio Gonçalves Daura-Jorge, Dr.
Avaliador
Depto de Ecologia e Zoologia, CCB, UFSC

Prof. Fernando Joner, Dr.
Avaliador
Depto de Fitotecnia, CCA, UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de laboratório, aos meus queridos pais e minha família.

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos a meus pais que sempre fizeram de tudo para que não me faltasse nada. A minha família pela paciência e pelas horas que não pude estar junto a vocês durante esta caminhada. Especialmente a minha esposa por nunca ter duvidado de mim e me apoiado em minhas escolhas.

Ao curso de bacharel em administração que me mostrou logo depois de formado que não queria ser Administrador. E a especialização em gestão ambiental e sustentabilidade que me apresentou a maravilhas do mundo biológico.

A prefeitura municipal de Florianópolis que me mostrou que ser um funcionário público não te faz feliz. E ao banco Bradesco que me levou a saúde, mas me deixou a sanidade e condições financeiras para buscar novos rumos.

A lei de cotas para estudantes de escola pública, que me permitiu disputar com equidade e ingressar em uma universidade federal pública e de qualidade. A UFSC que me mostrou um mundo intangível e desconhecidos por muitos de onde venho. E ao curso de Ciências Biológicas, que me mostrou as maravilhas do mundo biológico de uma forma que ainda não havia visto.

Ao professor Dr. Eduardo L. Hettwer Giehl que me iniciou nesse mundo científico e me abriu as portas para mundo ecológico. Posso dizer que ele foi o responsável por um período de grandes mudanças, crescimento e muito aprendizado. E ao Dr. Rafael Barbizan Sühs, que colaborou com dados coletados e na construção deste TCC.

A vitamina D3, ao sol, o mar, o surf, a música e ao meu violão. Pontos de fuga e acalanto, onde eu recupero a saúde e a paz interior.

E por último, mas não menos importante a Deus e ao meu mestre Jesus Cristo, que permitiram trilhar por todos estes caminhos e que continuem me abençoando pelos rumos futuros...

Quando os seus talentos encontram as necessidades do mundo, ali está a sua vocação.
(Aristóteles, 384 a.C.)

RESUMO

Investigamos como os distúrbios causados pelo manejo com pastejo e fogo podem alterar a estrutura populacional de araucária (*Araucaria angustifolia*, Araucariaceae) e, assim, o avanço da floresta sobre o campo na região altomontana do Sul do Brasil. Avaliamos a resposta da estrutura populacional de araucária em três tipos de habitats (floresta, arbustal e campo) e dois tipos de manejo (com ou sem pastejo e fogo). Para a amostragem das populações, alocamos 40 transeções de 100 x 4 m, 18 com pastejo e fogo e 22 onde esses distúrbios são impedidos (Parque Nacional de São Joaquim). Metade da extensão de cada transeção se localizava floresta adentro, e a outra metade, em extensões variáveis de habitats mais abertos de arbustal ou campo. Analisamos a abertura do dossel, e a estrutura das populações e a densidade de indivíduos de araucária. No total, amostramos 570 indivíduos de araucária, sendo 339 plântulas, 59 juvenis I, 44 juvenis II e 128 adultos. A abertura do dossel diferiu entre os habitats e entre os tipos de manejo, com maiores aberturas no arbustal e campo de áreas com pastejo e fogo. A estrutura populacional diferiu entre habitats e entre tipos de manejo e entre os mesmos habitats mas sob tipos de manejo distintos. A densidade populacional total foi 35,9% maior em áreas sob pastejo e fogo, o que pode estar relacionado com a maior abertura do dossel encontrada nessas áreas, especialmente nos habitats de campo e arbustal. Ao comparar habitats em diferentes tipos de manejo, encontramos 40% mais adultos na floresta que nos outros habitats e no arbustal e campo quase seis vezes mais plântulas em áreas sob pastejo e fogo. Estes resultados sugerem que a expansão da floresta deve ocorrer de forma muito lenta em áreas com manejo via pastejo e fogo porque as araucárias raramente ultrapassam o estágio de plântula nos campos e arbustais nessas condições. Por outro lado, onde esses distúrbios são interrompidos, as plântulas podem se estabelecer nas áreas abertas como campos e arbustais, de forma que o processo de expansão da floresta sobre habitats abertos se torna possível. Assim, os distúrbios causados pelos diferentes tipos de manejo alteram não somente a estrutura populacional e a distribuição de araucária, mas também o processo de expansão da floresta sobre o campo.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*, estrutura populacional, campos de altitude, floresta ombrófila mista

ABSTRACT

We investigated how disturbances caused by management with grazing and fire can alter the population structure of araucaria (*Araucaria angustifolia*, Araucariaceae) and, thus, the replacement of grassland by forest in the highlands of southern Brazil. We assessed the response of the araucaria population structure in three types of habitats (forest, shrubland and grassland) and two types of management (with or without grazing and fire). For the sampling of populations, we placed 40 100 x 4 m transects, 18 with grazing and fire and 22 where these disturbances are prevented (São Joaquim National Park). Half of the extent of each transect was in the forest, and the other half, in variable extents of the more open habitats – shrubland and grassland. We assessed canopy openness, and araucaria population structure and plant density. Overall, we sampled 570 araucaria individuals, of which 339 were seedlings, 59 juveniles I, 44 juveniles II and 128 adults. Canopy openness differed among habitats and between management type, with more open canopies in shrublands and grasslands where the management is with grazing and fire. Population structure differed between habitats and between types of management and between the same habitat but under different types of management. Overall population density was 35.9% higher in areas under grazing and fire, which may be related to more open canopies found in these areas, especially in grassland and shrubland habitats. When comparing habitats in different types of management, we found 40% more adults in forests than in the other habitats, and in shrublands and grasslands, about six times more seedlings in areas under grazing and fire. These results suggest the expansion of forests must occur very slowly in areas with management by grazing and fire because the araucarias rarely grow beyond the seedling stage in grasslands and shrublands under such conditions. In turn, where these disturbances are interrupted, seedlings can establish themselves in open areas such as grasslands and shrublands, so that the process of forest expansion over more open habitats becomes possible. Thus, disturbances caused by different types of management alter araucaria population structure and the distribution, but also the process of expansion of forests over grasslands.

Keywords: *Araucaria angustifolia*, population structure, highland grasslands, mixed rainforest

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	15
<u>1.1</u>	<u>OBJETIVOS</u>	17
<u>1.1.1</u>	<u>Objetivo Geral</u>	17
<u>1.1.2</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	17
<u>2</u>	<u>MÉTODOS</u>	18
<u>2.1</u>	<u>Área de estudo</u>	18
<u>2.2</u>	<u>Espécie de estudo</u>	18
<u>2.3</u>	<u>Coleta de dados</u>	19
<u>2.4</u>	<u>Análise de dados</u>	19
<u>3</u>	<u>RESULTADOS</u>	20
<u>3.1</u>	<u>Comparação da abertura do dossel</u>	20
<u>3.2</u>	<u>Comparação da estrutura populacional de araucária entre habitats</u>	21
<u>3.3</u>	<u>Comparação da estrutura populacional de araucária entre tipos de manejo</u>	22
<u>3.4</u>	<u>Comparação da estrutura populacional de araucária dentro de habitats em diferentes tipos de manejo</u>	23
<u>4</u>	<u>DISCUSSÃO</u>	24
<u>5</u>	<u>CONCLUSÃO</u>	26
<u>6</u>	<u>REFERÊNCIAS</u>	27
	<u>ANEXO A – Tabelas com dados descritivos</u>	30

INTRODUÇÃO

O clima é o principal determinante da distribuição dos grandes tipos de vegetação global como, por exemplo, a distribuição de florestas ou vegetações abertas. Porém, em certas regiões como o cerrado brasileiro ou nas savanas africanas, distúrbios como o fogo ou o pastejo por grandes herbívoros impedem o desenvolvimento de florestas, determinando a ocorrência de vegetações abertas (BOND; KEELEY, 2005). Já nas áreas altomontanas do Sul do Brasil, campos se alternam com florestas. Embora a distribuição de florestas e campos tenha se mantido sob estabilidade dinâmica nos últimos 30000 anos, há aproximadamente 5000 anos antes do presente (A.P.), iniciou-se uma expansão da floresta sobre os campos (BEHLING; PILLAR, 2007). O resultado dessa dinâmica é uma paisagem em mosaicos onde se alternam florestas, arbustais e campos (RAMBO, 1954). Nesta paisagem, o clima e outras condições ambientais, os distúrbios e as populações de espécies-chave cumprem papéis ainda não totalmente compreendidos na dinâmica da vegetação.

Durante a expansão da floresta sobre o campo, a araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Araucariaceae) se destaca como espécie-chave por seu efeito facilitador à chegada e ao estabelecimento de outras espécies de plantas florestais em meio a vegetações abertas (DUARTE et al., 2006). Na dinâmica de sucessão da vegetação, ecótonos entre floresta e campo tendem a ser ocupados por arbustais, um tipo de vegetação em que predominam arbustos do gênero *Baccharis* (Asteraceae), sendo *B. uncinella* DC. a mais comum na região. Os arbustais podem compor um estágio intermediário na transição entre campos a florestas devido a sua capacidade de expansão sobre os campos (DECHOUM; PERONI; PUGNAIRE, 2018). Eventualmente podem ocorrer estágios relativamente estáveis, quando da ocorrência de sua expansão, podendo inclusive ocorrer à redução da riqueza de plantas e a capacidade da floresta se estabelecer (GUIDO; SALENGUE; DRESSENO, 2017). Mas em casos em que o arbustal é submetido à incidência de fogo, pode ocorrer um retorno dos campos (BOND; PARR, 2010). Assim como acontece em outros sistemas, a direção da sucessão entre esses habitats pode se dar por variações na frequência de distúrbios ou por alterações nas condições ambientais (BOND; PARR, 2010). Parte das mudanças nas condições ambientais pode ser causada pela presença de indivíduos de araucária em diferentes estágios de desenvolvimento, interferido na incidência de luz (SILVA; ANAND, 2011). Como araucárias são facilitadoras para outras espécies lenhosas por modificar a incidência de luz, a temperatura e a disponibilidade de nutrientes do solo (KORNDÖRFER;

DILLENBURG; DUARTE, 2015), estas mudanças podem acabar influenciando a dinâmica de sucessão entre campo e floresta (GUGLIELME; GANADE, 2006).

O estabelecimento e desenvolvimento de araucária é influenciado tanto por variáveis abióticas, quanto por variáveis bióticas. O desenvolvimento de araucária é maior e a mortalidade de suas plântulas é menor nas proximidades da borda florestal (GUGLIELME; GANADE, 2006). Mas o estabelecimento da espécie é menor em direção ao interior da floresta devido ao aumento da predação de sementes e plântulas (BRUM; DUARTE; HARTZ, 2010). Fatores como incidência de luz, fertilidade do solo e disponibilidade de água são importantes reguladores de crescimento da espécie (SILVA; ANAND, 2011). Estes mesmos fatores podem promover o crescimento de araucária, mas também favorecer gramíneas e, assim, a formação ou manutenção dos campos (SCHOLES; ARCHER, 1997; ZANDAVALLI; DILLENBURG, 2015), permanecendo em um delicado equilíbrio entre o favorecimento de uma ou das outras.

Os campos, e as gramíneas que nele são dominantes, são importante alimento para o gado bovino, tornando a pecuária uma atividade muito comum na região (DE VARGAS KILCA; HIGUCHI; DA SILVA, 2020). Até o final do século XX havia uma expansão do uso do sistema de manejo tradicional, que promove o pastejo em combinação com o fogo (NABINGER; MORAES; MARASCHIN, 2000). Assim, a pecuária é uma atividade relacionada com a promoção de distúrbios em vários níveis (DE VARGAS KILCA; HIGUCHI; DA SILVA, 2020). Parte dos distúrbios causada pelo gado bovino envolve o próprio pastejo do campo e a diminuição e desestruturação da serapilheira na floresta. Tanto o pisoteio quanto a herbivoria levam a um aumento da entrada de luz no nível do solo (PEDÓ; FREITAS; HARTZ, 2010a). O fogo é outro distúrbio promovido visando ao rebrote da vegetação campestre e melhoria da qualidade desta como alimento para o gado, embora elimine também plântulas de espécies lenhosas estabelecidas nessas áreas (SÜHS; GIEHL; PERONI, 2020). Consequentemente, o fogo e o pastejo são distúrbios com efeitos aparentemente abrangentes em todos os diferentes tipos de vegetação.

O manejo com pastejo e fogo constituem distúrbios que, por sua vez, influenciam diretamente a dinâmica de funcionamento do sistema campo-floresta (OVERBECK et al., 2007; PILLAR, 2003). Contudo, os mecanismos que afetam a distribuição de araucária e sua estrutura populacional e, com isso, quais efeitos ela desempenha na dinâmica floresta-campo, são ainda incompletamente compreendidos. Nesse sentido, testamos a hipótese de que distúrbios resultantes do manejo com pastejo e fogo reduzem a capacidade da floresta se

expandir sobre arbustais e campos por meio de efeitos negativos sobre populações de araucária. Especificamente, apesar de araucárias germinarem em campos, arbustais ou florestas, o pastejo e o fogo impedem que araucárias cheguem ao estágio adulto, momento em que facilitariam a chegada de outras espécies florestais. Assim, esperamos encontrar indivíduos dos menores estágios de desenvolvimento em todos os habitats, mas em menor número em locais onde o manejo envolve o pastejo e o fogo do que na ausência desses distúrbios. Avaliamos essa hipótese contrastando a densidade de indivíduos e a estrutura populacional de araucária em florestas, arbustais e campos, e identificamos singularidades que podem ser causadas por diferentes tipos de manejo e distúrbios associados, especialmente mudanças de incidência de luz.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a estrutura populacional e a distribuição de indivíduos de *Araucaria angustifolia* em diferentes estágios de desenvolvimento ao longo dos habitats de campo, arbustal e floresta, relacionando-as ainda com manejos que se dão com ou sem distúrbios causados pelo pastejo e fogo, visando a entender como eles afetam a população da espécie e, por consequência, o avanço da floresta sobre o campo na região altomontana do Sul do Brasil.

Objetivos Específicos

- Avaliar a estrutura das populações de *Araucaria angustifolia* verificando a alocação dos indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento ao longo de ecótonos floresta-campo (com foco na distribuição ao longo do gradiente floresta, arbustal e campo).

- Avaliar relações entre abertura do dossel com a densidade e estrutura populacional de araucária entre áreas manejadas com e sem pastejo e fogo (contrastando populações e sua estrutura entre os habitats e de acordo com o tipo de manejo aplicado).

- Avaliar relações entre estrutura com a distribuição das populações de araucária com as áreas manejadas com ou sem pastejo e fogo (verificando como os distúrbios influenciam a forma da distribuição e consequências sobre o processo de expansão da floresta sobre o campo).

MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na região serrana no sul do Brasil nos municípios de Urubici e Bom Jardim da Serra, estado de Santa Catarina. O relevo da região é de modo geral ondulado a suavemente ondulado, mas pode conter declives brandos ou até acentuados, quando formam cânions com rochas expostas e pouca vegetação. Os solos são do tipo Cambissolo, Nitossolo ou Neossolo Litólico (SOUZA 2004). Sua formação composta por rochas vulcânicas é propícia à recarga e descarga do Aquífero Guarani (ICMBIO, 2019). O clima na região é temperado, sem estação seca, com temperatura média anual 14°C e 12°C. No inverno há ocorrência comum de geadas e, ocasionalmente, neve (“INMET - Instituto Nacional de Meteorologia”, [s.d.]). A precipitação média anual é de ~1620 mm/ano.

Na região, ocorrem os seguintes tipos de vegetação: Campos, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, Floresta Ombrófila Mista Montana e Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (IBGE 2012). Além disso, ocorrem ainda arbustais, localmente conhecidos como vassourais, fisionomia altamente dominada por arbustos do gênero *Baccharis*, especialmente *Baccharis uncinella* (DECHOUM; PERONI; PUGNAIRE, 2018; SÜHS; GIEHL; PERONI, 2020). O local utilizado como controle, isto é, onde os distúrbios avaliados são impedidos, fica situado no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ). Criado em 1961, o PNSJ abriga uma área aproximada de 49.300 ha com perímetro de 114 km (SOUZA 2004). As áreas manejadas com pastejo e fogo são próximas ao perímetro do PNSJ e apresentam condições ambientais semelhantes a ele, permitindo assim a comparação em função de diferenças especialmente em termos do tipo de manejo.

ESPÉCIE DE ESTUDO

Estudamos a distribuição e a estrutura populacional de araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Araucariaceae) em seus estágios de desenvolvimento ao longo de três habitats e dois tipos de manejo. A espécie é considerada chave na dinâmica de expansão da floresta sob o campo (OVERBECK et al., 2007; PILLAR, 2003), devido ao seu

efeito facilitador para outras espécies arbóreas (DUARTE et al., 2006; SÜHS; GIEHL; PERONI, 2020).

COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados foram alocadas 40 transeções de 100×4 m (= 400 m²), totalizando uma área total amostrada de 16000 m² (= 1,6 ha). As transeções foram instaladas de forma perpendicular ao ecótono floresta-campo e centralizadas em um indivíduo adulto de araucária localizado na borda da floresta, para assim reduzir a chance de não encontrar indivíduos das menores classes de tamanho por ausência de fonte de sementes, e visando a uma padronização que permitisse a comparação entre transeções. As transeções consistiram em 50 m floresta adentro e os outros 50 m seguindo em sentido oposto à floresta. Fora da floresta havia extensões variáveis de campo e arbustal, de forma que as transeções cobriram áreas variadas desses dois tipos de habitat.

Das 40 transeções, 18 foram instaladas em áreas privadas. Nessas áreas é aplicado manejo que envolve distúrbios resultantes da queima dos campos, e pastejo e pisoteio por gado, principalmente gado bovino (“áreas com pastejo e fogo”). Outras 22 transeções foram instaladas na unidade de conservação, onde o manejo visa ao impedimento destes tipos distúrbios (“áreas sem pastejo e fogo”). Nas transeções foram conduzidas buscas ativas (varreduras) para registrar indivíduos de araucária. A classificação dos estágios ontogenéticos foi realizada com base na altura e estruturas reprodutivas. Os estágios foram classificados em: plântula (até 1 m), juvenil I (de 1 m até 3,5 m), juvenil II (de 3,5 até 6 m e copa não formada) e adulto (acima de 6 m com copa formada ou estrutura reprodutiva visível).

Para entender parte das diferenças ambientais entre habitats e tipos de manejo, obtivemos fotografias do dossel a cada 10 m ao longo de cada transeção. Com as fotografias, calculamos a abertura do dossel como um indicador da disponibilidade de luz nos diferentes habitats e tipos de manejo e, assim, auxiliar na análise e compreensão dos dados de estrutura populacional.

ANÁLISE DE DADOS

Comparamos o percentual de abertura do dossel em função dos três habitats e dos dois tipos de manejo, bem como a interação entre habitat e tipo de manejo, com uma Análise

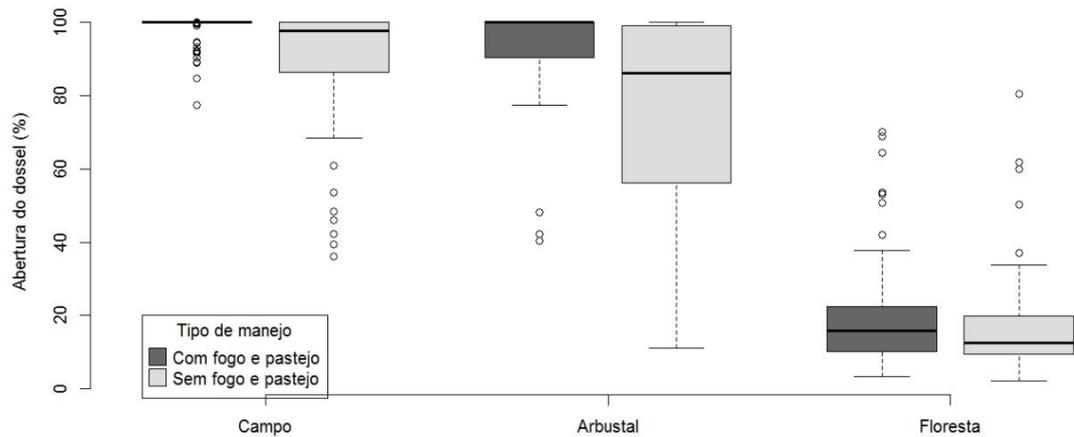
de variância bifatorial. Em seguida, contrastamos a estrutura das populações amostradas, em termos de quantidade de indivíduos em cada estágio de desenvolvimento, entre habitats e entre tipos de manejo, com testes de qui-quadrado (χ^2). Testes de qui-quadrado adicionais foram usados para contrastar pares de habitats idênticos, mas sob manejos distintos. De forma complementar, calculamos a densidade de indivíduos para comparações mais diretas de diferenças no tamanho populacional e na ocupação do espaço dadas as extensões variáveis de campo e arbustal. Essa comparação adicional foi realizada por estágios de desenvolvimento, entre habitats, entre tipos de manejo, e nos mesmos tipos de habitat sob manejos distintos.

RESULTADOS

COMPARAÇÃO DA ABERTURA DO DOSSEL

A abertura do dossel diferiu principalmente de acordo com o habitat (Anova, $F_{2, 466} = 1241$; $P < 0.001$), já que a vegetação é bem mais aberta no campo e no arbustal do que na floresta (Fig. 1). A abertura também diferiu entre os tipos de manejo (Anova, $F_{1, 466} = 23.8$; $P < 0.001$), com maiores aberturas sob manejo com fogo e pastejo entre campos e entre arbustais, mas sem diferença entre as florestas (Anova, interação Habitat \times Tipo de manejo, $F_{2, 466} = 5.3$; $P = 0.005$). Isso aponta que não apenas os habitats diferem na disponibilidade de luz, mas que a disponibilidade de luz nos mesmos habitats é ainda afetada pelo manejo, em um gradiente que pode explicar as diferenças populacionais de araucária descritas a seguir.

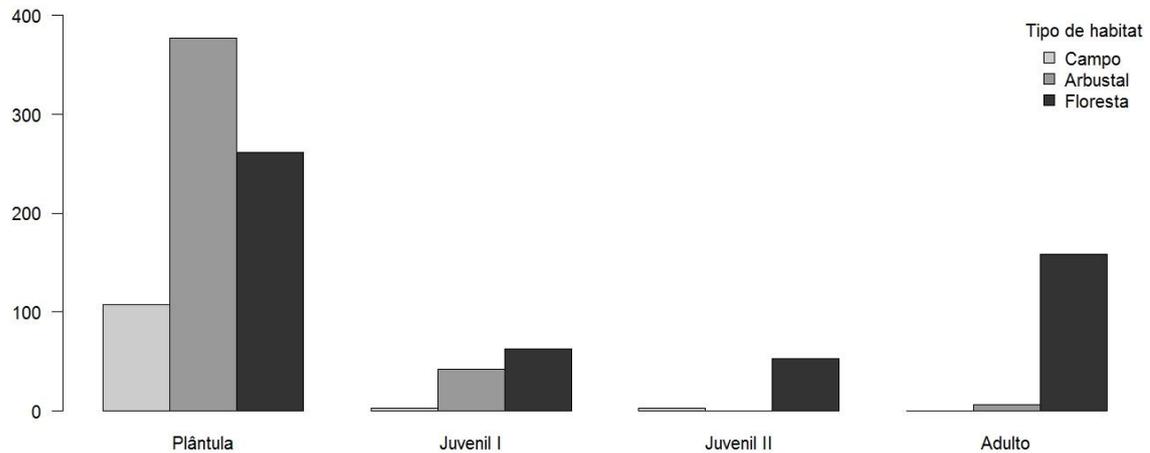
Figura 1. Abertura do dossel pelo habitat e tipo de manejo.



COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA POPULACIONAL DE ARAUCÁRIA ENTRE HABITATS

No total, amostramos 570 indivíduos de araucária, sendo 339 plântulas, 59 juvenis I, 44 juvenis II e 128 adultos. Identificamos diferenças distribuição desses e na estrutura populacional entre os três habitats (teste global baseado na contagem de indivíduos por estágio, $\chi^2 = 87,6$; $P < 0,001$). Em primeiro lugar, esse resultado está relacionado com diferenças entre os estágios, evidenciado principalmente por plântulas em maior densidade no arbustal e floresta, e adultos na floresta (Fig. 2). A estrutura da população da floresta diferiu tanto da população do arbustal ($\chi^2 = 43,1$; $P < 0,001$), quanto da população do campo ($\chi^2 = 52,7$; $P < 0,001$), mas a estrutura populacional do arbustal e campo não diferiram ($\chi^2 = 6$; $P < 0,06$). Em segundo lugar, a diferença entre habitats pode estar relacionada à diminuição das densidades totais de indivíduos no gradiente floresta-arbustal-campo. Na floresta foram contabilizados 428 indivíduos (75,1% das araucárias), resultando em uma densidade de 535 ind./ha (área amostrada = 8000 m²). No arbustal, foram amostrados 70 indivíduos (12,3%), resultando em uma densidade de 425 ind./ha (área amostrada = 1645,2 m²). Já no campo, foram amostrados 72 indivíduos (12,6%), resultando em uma densidade de 113 ind./ha (área amostrada = 6354,8 m²).

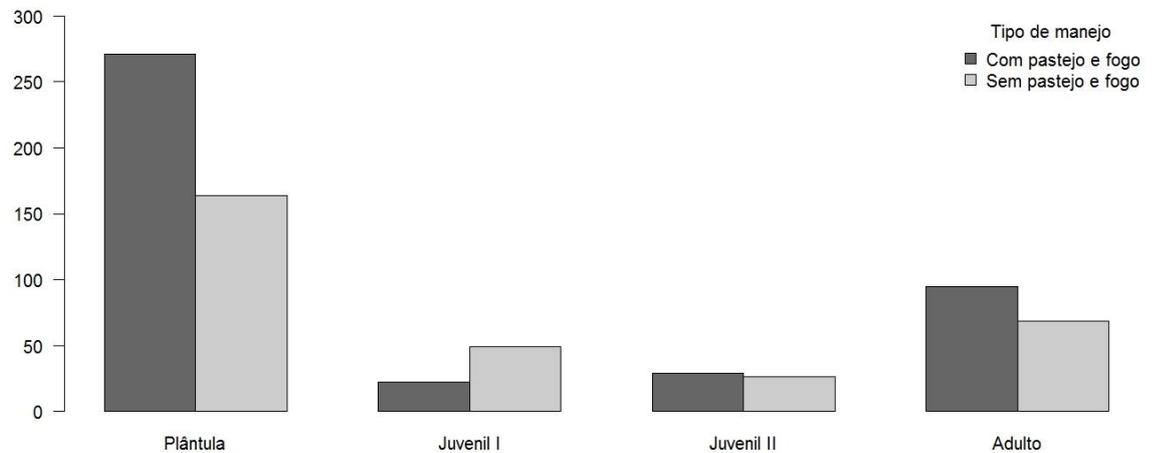
Figura 2. Estrutura populacional de araucária em diferentes habitats. As barras representam a densidade estimada em indivíduos/ha.



COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA POPULACIONAL DE ARAUCÁRIA ENTRE TIPOS DE MANEJO

A estrutura das populações diferiu entre os dois tipos de manejo (teste baseado na contagem de indivíduos por estágio, $\chi^2 = 19,1$; $P < 0,001$), principalmente devido ao maior número de plântulas encontradas nas áreas sob pastejo e fogo e mais juvenis I nas áreas sem esse distúrbio (Fig. 3). Além disso, a diferença entre tipos de manejo pode estar relacionada ao aumento da densidade total de indivíduos nas áreas sob fogo e pastejo, já que a densidade de indivíduos por área foi ~36% maior em áreas sob pastejo e fogo (417 ind./ha; 300 indivíduos em 7200 m²) do que em áreas sem esses distúrbios (307 ind./ha; 270 indivíduos em 8800 m²).

Figura 3. Estrutura populacional de araucária por densidade sob diferentes tipos de manejo. As barras representam a densidade estimada em indivíduos/ha.



COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA POPULACIONAL DE ARAUCÁRIA DENTRO DE HABITATS EM DIFERENTES TIPOS DE MANEJO

Encontramos algumas diferenças entre as populações ao contrastar pares de habitats idênticos entre tipos de manejo (Fig. 4).

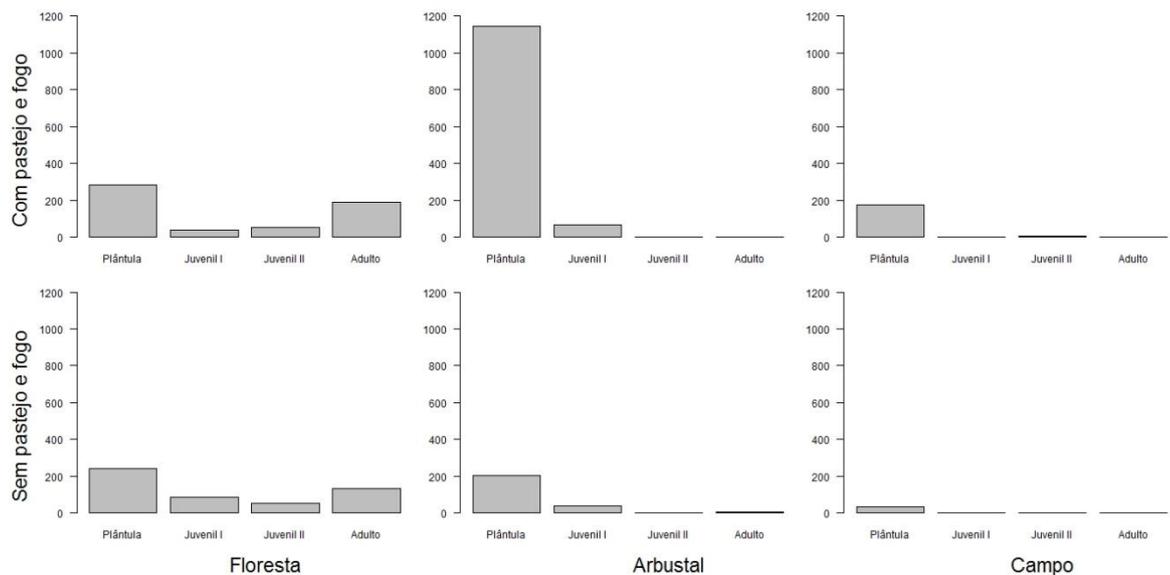
A estrutura das populações das florestas diferiu entre os tipos de manejo (teste baseado na contagem de indivíduos por estágio, $\chi^2 = 11,3$; $P < 0,008$). A densidade de indivíduos na floresta em áreas com pastejo e fogo foi 16% maior para plântulas (283 ind./ha; 102 indivíduos em 3600 m²) do que em áreas sem esses distúrbios (243 ind./ha; 107 indivíduos em 4400 m²) e 40% maior para adultos (188 ind./ha; 68 indivíduos em 3600 m²) do que em áreas sem esses distúrbios (134 ind./ha; 58 indivíduos em 4400 m²). Porém, o estágio juvenil I teve duas vezes mais indivíduos em áreas sem pastejo e fogo.

No arbustal a estrutura das populações não diferiu entre os tipos de manejo (teste baseado na contagem de indivíduos por estágio, $\chi^2 = 1,96$; $P = 0,23$). Mesmo assim, a densidade no arbustal foi quase seis vezes maior para plântulas em áreas com pastejo e fogo (1144 ind./ha; 35 indivíduos em 306 m²) do que em áreas sem esses distúrbios (202 ind./ha; 27 indivíduos em 1339,2 m²).

Para o campo a estrutura das populações não diferiu entre os tipos de manejo (teste baseado na contagem de indivíduos por estágio, $\chi^2 = 2,2$; $P = 0,51$). Ainda assim, a densidade

no campo também foi quase seis vezes maior para plântulas em áreas com pastejo e fogo (176 ind./ha; 58 indivíduos em 3294 m²) do que em áreas sem esses distúrbios (33 ind./ha; 10 indivíduos em 3060,8 m²).

Figura 4. Estrutura populacional de araucária em diferentes habitats e sob diferentes tipos de manejo. As barras representam a densidade estimada em indivíduos/ha.



DISCUSSÃO

Plantas de araucária podem ser encontradas em muitas situações e em diferentes estágios ontogenéticos ao longo de ecótonos floresta-campo, mas constituindo estruturas populacionais distintas. Encontramos araucárias em praticamente todas as situações, mas com diferenças importantes entre habitats, entre os tipos de manejo e na comparação dos mesmos habitats sob manejos distintos. Com base na análise da estrutura populacional desta espécie-chave, nossos resultados corroboram a hipótese de que os distúrbios resultantes do manejo com pastejo e fogo reduzem a capacidade da floresta se expandir sobre arbustais e campos. Quanto à estrutura populacional, identificamos diferenças na distribuição dos estágios de desenvolvimento e na abundância de seus indivíduos entre áreas com pastejo e fogo ou sem pastejo e fogo. Encontramos também indivíduos dos menores estágios de desenvolvimento em todos os habitats, mas em maior número em locais onde o manejo envolve o pastejo e o

fogo. Embora, num primeiro momento, isso se contraponha à nossa hipótese, a dificuldade de araucárias avançarem além do estágio de plântula nessas condições deve limitar a atuação da espécie como facilitadora e a expansão da floresta sobre campos e arbustais. Os nossos resultados indicam ainda que arbustais podem ser importantes para entender a regeneração de araucárias e a dinâmica entre tipos de vegetação na região.

A estrutura da vegetação na região há décadas já apresentava grandes áreas de floresta, arbustal e campo (RAMBO, 1954). Nossos dados apontam que estrutura populacional de araucária apresenta diferenças na distribuição entre os habitats, principalmente entre a floresta e os demais habitats. Já os demais habitats, arbustal e campo, não apresentam diferenças na estrutura da população e as densidades populacionais são semelhantes. Estas áreas formam ecótonos floresta-campo, onde o arbustal leva à floresta ou campo dependendo das condições ambientais e a frequência de distúrbios (BOND; PARR, 2010). Nossos resultados apontam ainda que os distúrbios causados pelo tipo de manejo aplicado podem alterar os habitats, levando a diferenças na estrutura das populações de araucária nas áreas com pastejo e fogo e sem pastejo e fogo. Em áreas com pastejo e fogo a abertura do dossel e a densidade de indivíduos por área foram maiores, ocorrendo mais plântulas e adultos em áreas sob este tipo de manejo. Mas mesmo com mais plântulas no arbustal de áreas com pastejo e fogo, pode não ocorrer um maior estabelecimento de indivíduos dos estágios ontogenéticos posteriores.

A maior quantidade de plântulas no arbustal de áreas com pastejo e fogo pode se dar por dois motivos. Primeiro, porque os arbustais de áreas manejadas com fogo e pastejo têm em média maior abertura do dossel e, com mais luz, podem permitir a rápida germinação das sementes que ali chegam. A maior abertura do dossel nestas áreas pode ocorrer porque o gado transita livre pela borda florestal e pisoteia a serapilheira, interfere no sub-bosque consumindo e pisoteando ervas e samambaias (PEDÓ; FREITAS; HARTZ, 2010a). Segundo, porque arbustais tem pouca vegetação no nível do solo, oferecendo pouca proteção a pequenos mamíferos e outros potenciais predadores de sementes que podem evitar essas áreas (GUGLIELME; GANADE, 2006; PEDÓ; FREITAS; HARTZ, 2010a). Contudo, no arbustal de áreas com pastejo e fogo, não foi observado o desenvolvimento de araucárias além do estágio de plântula. Isso pode ocorrer por três motivos: 1) pelo uso do fogo em determinados períodos para promover o crescimento da vegetação campestre para alimentar o gado (SÜHS; GIEHL; PERONI, 2020), 2) pelo pastejo e pisoteio do gado, que por sua vez eliminam plântulas em crescimento inicial (NABINGER; MORAES; MARASCHIN, 2000), e 3) por

remoção deliberada por parte do proprietários, que temem que araucárias adultas se estabeleçam em meio ao campo. Isto pode ocorrer por que a floresta se expande de forma lenta sobre o campo (BEHLING et al., 2004; PILLAR, 2003), mas este processo é dependente do tipo de manejo que é aplicado (SÜHS; GIEHL; PERONI, 2018, 2020). Os distúrbios causados pela queima e pisoteio de plântulas (Sühs et al. 2020; Nabinger et al. 2000) podem impedir que a expansão da floresta ocorra pela borda florestal (DUARTE et al., 2006), alterando a distribuição da araucária e como a floresta avança sob o campo. Por outro lado, quando o manejo passa a impedir o pastejo e fogo, há uma rápida ampliação da extensão dos arbustais, principalmente a partir daqueles localizados junto à borda da floresta (Sühs et al. 2020). Com isso, estes arbustais podem permitir o alcance do estágios posteriores e, com tempo suficiente, o alcance do estágio adulto nessas condições, algo que ainda não foi possível dado que a regularização fundiária das áreas dentro da unidade de conservação estudada ocorreu, no máximo, há ~15 anos.

Estudos futuros podem explorar melhor se a redução das plântulas nos demais estágios ontogenéticos se dá apenas pelo pisoteio, ou se os predadores atuam de forma diferente nos diferentes tipos de manejo e habitats. Por outro lado, poderiam averiguar se o próprio fogo ou se as variáveis abióticas são as principais responsáveis pelo sucesso das plântulas em chegar a estágios posteriores de desenvolvimento.

CONCLUSÃO

Os distúrbios causados pelo manejo com gado e fogo alteram a estrutura populacional de araucária, com consequências importantes para sua distribuição espacial e para a dinâmica de expansão da floresta sobre o campo. Especificamente, a expansão deve ocorrer de forma mais lenta em áreas sob manejo que inclua pastejo e fogo porque as araucárias raramente ultrapassam o estágio de plântula nessa situação, especialmente em habitats não florestais. Por outro lado, em áreas onde esse manejo é prevenido ativamente, como é o caso da unidade de conservação estudada, as plântulas podem se estabelecer em vegetações mais abertas como campos e, especialmente, arbustais, fazendo com que o processo de expansão da floresta sobre o campo se torne possível ou que aconteça de forma mais rápida. Assim, os distúrbios causados pelos diferentes tipos de manejo alteram tanto a distribuição da araucária, quanto o processo de expansão da floresta sobre o campo.

FINANCIAMENTO

Este estudo foi parcialmente financiado pelo Fundo Mohamed bin Zayed de Conservação de Espécies (projeto n° 180520070) e pelo CNPq/Capes/FAPs/BC-Fundo Newton/PELD n° 15/2016 e FAPESC/2018TR0928. O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil (bolsa PIBIC ciclo 2019/2020).

REFERÊNCIAS

- BEHLING, H. et al. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambara do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, v. 203, n. 3–4, p. 277–297, 2004.
- BEHLING, H.; PILLAR, V. D. Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 243–251, 2007.
- BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387–394, 2005.
- BOND, W. J.; PARR, C. L. Beyond the forest edge: Ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2395–2404, 2010.
- BRUM, F.; DUARTE, L.; HARTZ, S. Seed removal patterns by vertebrates in different successional stages of Araucaria forest advancing over southern Brazilian grasslands. **Community Ecology**, v. 11, n. 1, p. 35–40, 2010.
- DE VARGAS KILCA, R.; HIGUCHI, P.; DA SILVA, A. C. Effects of cattle grazing on cloud forests in São Joaquim National Park, Santa Catarina state, Brazil. **Ciencia Florestal**, v. 30, n. 1, p. 1–17, 2020.
- DECHOUM, M. S.; PERONI, N.; PUGNAIRE, F. I. Factors controlling shrub encroachment in subtropical montane systems. **Applied Vegetation Science**, v. 21, n. 2, p. 190–197, 2018.
- DUARTE, L. D. S. et al. Role of nurse plants in Araucaria Forest expansion over grassland in

- south Brazil. **Austral Ecology**, v. 31, n. 4, p. 520–528, 2006.
- GUGLIELME, I.; GANADE, G. Predação de sementes afetando a distribuição de indivíduos de “*Araucaria angustifolia*” ao longo de uma borda de floresta com campo. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 1, n. 2, p. 62–71, 2006.
- GUIDO, A.; SALENGUE, E.; DRESSENO, A. Effect of shrub encroachment on vegetation communities in Brazilian forest-grassland mosaics. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 1, p. 52–55, 2017.
- ICMBIO. **Ministério do Meio Ambiente - ICMBio**.
- INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**.
- KORNDÖRFER, C. L.; DILLENBURG, L. R.; DUARTE, L. D. S. Assessing the potential of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) as a nurse plant in highland grasslands of south Brazil. **New Zealand Journal of Botany**, v. 53, n. 1, p. 5–14, 2015.
- NABINGER, C.; MORAES, A. DE; MARASCHIN, G. E. Campos in southern Brazil. In: LEMAIRE, G. et al. (Eds.). . **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI, 2000. p. 355–376.
- OVERBECK, G. E. et al. Brazil’s neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101–116, dez. 2007.
- PEDÓ, E.; FREITAS, T. R. O. DE; HARTZ, S. M. The influence of fire and livestock grazing on the assemblage of non-flying small mammals in grassland-Araucaria Forest ecotones, southern Brazil The influence of fire and livestock grazing on the assemblage of non-flying small mammals in grassland-Arauc. n. September, 2010a.
- PILLAR, V. D. P. Dinâmica da expansão florestal em mosaicos de floresta e campos no Sul do Brasil. In: CLAUDINO-SALES, V. (Ed.). . **Ecosistemas Brasileiros: Manejo e Conservação**. [s.l.] Expressão Gráfica, Fortaleza, 2003. p. 209–216.
- RAMBO, S. J. B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. [s.l.] Livraria Selbach, 1954. v. 6
- SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. Tree-Grass Interactions in Savannas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, n. 1, p. 517–544, 1997.
- SILVA, L. C. R.; ANAND, M. Mechanisms of Araucaria (Atlantic) Forest Expansion into Southern Brazilian Grasslands. **Ecosystems**, v. 14, n. 8, p. 1354–1371, 2011.
- SÜHS, R. B.; GIEHL, E. L. H.; PERONI, N. Interaction of land management and araucaria trees in the maintenance of landscape diversity in the highlands of southern Brazil. **PLOS ONE**, v. 13, n. 11, p. e0206805, nov. 2018.

- SÜHS, R. B.; GIEHL, E. L. H.; PERONI, N. Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 783, dez. 2020.
- SURVEY, U. S. G. et al. Management of remnant tallgrass prairie by grazing or fire: effects on plant communities and soil properties. v. 11, n. August, 2020.
- ZANDAVALLI, R.; DILLENBURG, L. Response of *Araucaria angustifolia* seedlings to root competition in three different plant communities of southern Brazil. **New Zealand Journal of Botany**, v. 53, n. 3, p. 139–154, 2015.

ANEXO A – Tabelas com dados descritivos

Tabela S1. Quantidade de indivíduos encontrados nos quatro estágios de desenvolvimento de araucária por habitat e tipo de manejo.

Habitat / Tipo de manejo	Plântula	Juvenil I	Juvenil II	Adulto
Floresta com pastejo e fogo	102	13	19	68
Floresta sem pastejo e fogo	107	37	23	59
Arbustal com pastejo e fogo	35	2	0	0
Arbustal sem pastejo e fogo	27	5	0	1
Campo com pastejo e fogo	58	1	2	0
Campo sem pastejo e fogo	10	1	0	0

Tabela S2. Densidade estimada dos quatro estágios de desenvolvimento de araucária por habitat e por tipo de manejo. Os dados representam a densidade em indivíduos por hectare.

Habitat / Tipo de manejo	Plântula	Juvenil I	Juvenil II	Adulto	Área amostrada (m²)
Floresta com pastejo e fogo	283	36	53	188	3600
Floresta sem pastejo e fogo	243	84	52	134	4400
Arbustal com pastejo e fogo	1144	65	0	0	306
Arbustal sem pastejo e fogo	202	38	0	7	1339,2
Campo com pastejo e fogo	176	4	6	0	3294
Campo sem pastejo e fogo	33	3	0	0	3060,8

Tabela S3. Valores médios de abertura do dossel (em %) a diferentes distâncias da borda da floresta. Valores negativos de distância da borda indicam localização floresta adentro, e valores positivos, localização floresta afora.

Distância	Sem pastejo e fogo	Com pastejo e fogo
-50	17,32	20,62
-40	14,52	25,45
-30	15,48	16,91
-20	15,34	13,46
-10	20,09	18,37
0	25,79	39,38
10	64,81	89,37
20	82,04	98,06
30	84,48	99,01
40	84,98	99,39
50	89,71	98,49