

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA ABERTURA DE DOSSEL E DE SEUS EFEITOS DA SOBRE A
REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Trabalho de Conclusão de Curso, para obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas,
apresentado conforme as normas técnicas
da Revista Brasileira de Biociências.

Autor: Jéssica Schüler

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Müller

Banca examinadora:

Prof. Dr. João André Jarenkow

Me. Ronaldo dos Santos Junior

Porto Alegre, novembro de 2016

AVALIAÇÃO DA ABERTURA DE DOSSEL E DE SEUS EFEITOS SOBRE A REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Jéssica Schüler^{1*}, Milena Fermina Rosenfield¹, Sandra Cristina Müller¹

RESUMO: A restauração ecológica é o processo de acelerar a regeneração de ecossistemas degradados, visando reestabelecer a estrutura e processos em comunidades. Na restauração florestal, um dos principais processos avaliados é a regeneração natural, sendo esse altamente associado às condições de luminosidade no sub-bosque, determinada pela abertura do dossel. Os objetivos desse trabalho foram (i) avaliar a diversidade, riqueza e composição de espécies da regeneração natural em florestas semidecíduais em processo de restauração, comparando com florestas preservadas (referência); (ii) avaliar a relação entre a abertura de dossel de áreas em restauração e florestas de referência com a riqueza e densidade de espécies regenerantes; e (iii) testar a eficácia do uso da área basal e da densidade de árvores como parâmetros associados à abertura de dossel. O estudo foi conduzido em áreas de restauração, nos municípios de Canela e Santa Tereza, Rio Grande do Sul. Foram levantados indivíduos regenerantes (altura > 30cm; DAP < 5cm) de espécies arbóreas e arbustivas. A abertura de dossel foi avaliada a partir de fotos hemisféricas, da área basal e densidade de adultos. Os resultados mostraram que as áreas em restauração diferem das áreas de referência na composição de espécies. Em Canela, porém, os padrões de riqueza, densidade de indivíduos da regeneração natural e abertura de dossel já se assemelham à floresta de referência. Em Santa Tereza, por sua vez, todos os parâmetros avaliados diferiram entre a restauração e a floresta de referência. A abertura de dossel não mostrou relação com a riqueza e densidade de regenerantes, além de não estar relacionada com a densidade de adultos e apenas parcialmente com a área basal.

Palavras-chave: sucessão, densidade de árvores, área basal, sub-bosque

¹Laboratório de Ecologia Vegetal, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Contato Jéssica Schüler – jehschuler@gmail.com

ABSTRACT: (Canopy openness evaluation and its effects on the natural regeneration on restoration sites)

Ecological restoration is the process of accelerating the regeneration of degraded ecosystems, aiming to reestablish the structure and processes of communities. On the restoration of forests, one of the main processes evaluated is the natural regeneration, which is highly related to the light conditions of the understory determined by canopy openness. The aims of this study were (i) to evaluate diversity, species richness and composition of the natural regeneration on semi-deciduous forests undergoing restoration, comparing to a preserved forest (reference); (ii) to evaluate the relationship of canopy openness with regenerating species richness and density; and (iii) to test the efficiency of using basal area and tree density as indicators of canopy openness. The study was conducted in two restoration sites located in Canela and Santa Tereza, Rio Grande do Sul. The survey included regenerating individuals (height > 30 cm, DBH > 5 cm) of trees and shrub species. The canopy openness was evaluated using hemispherical photography, basal area and tree density. The results showed that both restoration areas are still different from the reference forests regarding the species composition. Canela, however, presented similar values of species richness, regenerating individuals density and canopy openness for both restoration and reference forest. These patterns were not observed in Santa Tereza, where all of these parameters differed significantly between restoration and reference. Also, canopy openness did not show any relationship with species richness or density. It also did not correlate with tree density and only presented a partial relationship with basal area.

Key words: succession, tree density, basal area, understory.

Introdução

Com a crescente perda de ambientes naturais para a expansão agrícola e urbana, torna-se cada vez mais importante, além de preservar os remanescentes de paisagem natural, restaurar as áreas degradadas, recuperando a biodiversidade e as características locais (Young 2000, Lamb *et al.* 2005, Dobson *et al.* 2008, Rodrigues *et al.* 2009). Assim, a restauração ecológica representa uma importante ferramenta para a conservação de habitats terrestres e aquáticos (Dobson *et al.* 2008).

A restauração ecológica é o processo de acelerar a regeneração de ambientes degradados através de ações diretas ou indiretas (SER 2004, Rodrigues *et al.* 2009). A escolha das técnicas utilizadas para restaurar uma área depende do seu histórico de uso e dos distúrbios sofridos, podendo ir desde a simples eliminação dos distúrbios até intervenções mais diretas, como transposição de solo e plantio de espécies (SER 2004, Rodrigues *et al.* 2009, Nery *et al.* 2013).

A restauração de ambientes originalmente florestais geralmente ocorre através da minimização dos distúrbios, controle de invasoras e inserção de espécies nativas capazes de criar condições de sombreamento (Fonseca 2013, Nery *et al.* 2013). Isso permite que espécies oriundas de áreas fonte de propágulos colonizem o local e deem continuidade ao processo sucessional (SER 2004, Rodrigues *et al.* 2009, Fonseca 2013, Nery *et al.* 2013). A trajetória da restauração é então avaliada a partir de um ecossistema de referência. A longo prazo, o sucesso da restauração é alcançado quando o ecossistema apresenta espécies características da referência, possui recursos para manter as populações, apresenta conectividade com a matriz ecológica, tem resiliência em níveis normais de distúrbios e apresenta regeneração natural, sendo capaz de se manter e evoluir (SER 2004, Fonseca 2013, Nery *et al.* 2013).

Diversos fatores bióticos e abióticos, como as condições do solo, a camada de serapilheira, predação e competição, e, especialmente, a luminosidade, determinam o sucesso no estabelecimento de plântulas de espécies florestais (Hammond 1995, Notman & Gorchov 2001, Brearley *et al.* 2003, Wang & Augspurger 2004, Dupuy & Chazdon 2008). A luz é um dos principais fatores limitantes para o crescimento e sobrevivência de plantas lenhosas em florestas (Chazdon *et al.* 1996). O excesso de luz pode causar fotoinibição, afetando negativamente a germinação e o crescimento (Sasaki & Mori 1981). Do mesmo modo, sombreamento em excesso também reduz o crescimento e a sobrevivência de algumas espécies (Bebber *et al.* 2002). A quantidade de luz que incide sobre uma floresta é afetada pelas condições atmosféricas, sazonalidade e pela orientação do sol no decorrer do dia (Chazdon *et al.* 1996). Contudo, a luz disponível para as plântulas no sub-bosque é alterada quando passa pelo dossel, o que afeta tanto a quantidade quanto a qualidade da radiação disponível às mesmas (Chazdon *et al.* 1996).

A estrutura e a dinâmica do dossel, assim como a consequente luminosidade no sub-bosque, são distintas entre os diversos estágios sucessionais (Nicotra *et al.* 1999, Guariguata & Ostertag 2001, Ruschel *et al.* 2009, Zanini *et al.* 2014). Florestas secundárias, por exemplo, apresentam maior homogeneidade luminosa no sub-bosque que florestas primárias (Nicotra *et al.* 1999). Da mesma forma, uma das principais preocupações na restauração de habitats florestais é criar condições de sombreamento através do plantio de espécies capazes de fechar o dossel, sendo que a variação na luminosidade tem efeitos diretos sobre a regeneração natural, um dos principais processos avaliados como sucesso de restauração florestal (SER 2004, Rodrigues *et al.* 2009, Fonseca 2013, Nery *et al.* 2013). Nesse contexto, o estudo das relações entre a abertura do dossel e a regeneração natural em áreas de restauração pode fornecer importantes informações sobre a influência da luminosidade na progressão da restauração florestal.

Existem diversas técnicas disponíveis para a mensuração da abertura de dossel e da luminosidade no sub-bosque (Jennings *et al.* 1999). Dentre as medidas diretas de luminosidade se destaca a medida quântica, que avalia a radiação fotossinteticamente ativa disponível através de sensores de radiação (Jennings *et al.* 1999). Essa técnica, porém, é altamente sensível a pequenas variações na radiação, o que torna a comparação muito difícil. Medidas indiretas de luminosidade, como a cobertura e a abertura de dossel, são as mais comumente utilizadas. A cobertura de dossel é dada pela proporção de superfície da floresta coberta pela projeção vertical das copas das árvores, enquanto a abertura de dossel é a proporção do hemisfério celeste, a partir de um ponto de observação, que não é obscurecido pela vegetação (Jennings *et al.* 1999). Sabe-se, também, que há uma relação entre o tamanho de copa de uma árvore e a sua área basal. Assim, espera-se que uma maior área basal leve a uma menor abertura de dossel (Mitchell & Popovich 1997, Hale 2004). Do mesmo modo, uma maior densidade de indivíduos adultos no local leva a uma menor abertura de dossel (Hale 2004). Assim, estimar a abertura de dossel a partir da área basal e densidade de indivíduos adultos de uma área pode ser uma boa alternativa às demais técnicas, por ser de fácil obtenção de dados e economicamente viável.

Dessa forma, os objetivos desse estudo são: (i) avaliar a diversidade, riqueza e composição de espécies da regeneração natural em florestas em processo de restauração, comparando com florestas de referência; (ii) avaliar a relação entre a abertura de dossel de áreas em restauração e de florestas de referência com a riqueza e densidade de espécies regenerantes; e (iii) testar a eficácia no uso da área basal e da densidade de árvores no estrato superior como parâmetros associados à abertura de dossel.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas em processo de restauração onde houve plantio de mudas a fim de recuperar a floresta nativa e em fragmentos de mata conservada (floresta de referência) adjacente a essas áreas.

A primeira é uma área de encosta, localizada no município de Canela, Rio Grande do Sul (RS) (29°22'43" Sul, 50°43'50" Oeste) a uma altitude de 600 m, pertencente à Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). Segundo a classificação de Köppen- Geiger, o município está inserido no clima Cfa (clima subtropical úmido com verão quente). Esse clima se caracteriza por estações bem definidas, chuvas bem distribuídas durante o ano, com precipitação média de 1538 mm, temperatura média do mês mais quente de 20,5°C e do mês mais frio de 12°C (Peel *et al.* 2007). A área consistia em um plantio de eucalipto para a produção de postes para iluminação urbana. O plantio das mudas nativas com a finalidade de restaurar a área ocorreu há nove anos, após a remoção dos eucaliptos. A vegetação natural na área é classificada como Floresta Estacional Semidecidual com influência da Floresta Ombrófila Mista (IBGE 2004, 2012). Essa formação se caracteriza pela presença de plantas decíduas e semidecíduas, perdendo até 50% das folhas na estação desfavorável, além da presença de espécies características da Floresta Ombrófila Mista como a *Araucaria angustifolia* (IBGE 2012).

A segunda área, também uma encosta, está localizada no município de Santa Tereza, RS (29°09'27" Sul, 51°41'45" Oeste) a uma altitude de 250m. Assim como Canela, o município de Santa Tereza está inserido no clima Cfa com chuvas bem distribuídas durante o ano e alta variação de temperatura entre os meses frios e quentes (Peel *et al.* 2007). A área estudada era destinada à agricultura, possivelmente à produção de uvas, e o plantio de mudas de espécies nativas deu-se há cerca de dez anos. A vegetação nativa na região é caracterizada

como Floresta Estacional Semidecidual, perdendo parte da cobertura de folhas durante parte do ano (IBGE 2004, 2012).

Levantamento florístico

Foram levantados indivíduos regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas entre o mês de outubro de 2015 e janeiro de 2016, em Canela, e entre julho e setembro de 2016, em Santa Tereza. Para tanto, as áreas foram divididas em dois tratamentos: Restauração, onde ocorreu o plantio de mudas, e Floresta, que corresponde a área de referência. Em cada tratamento, foram demarcadas 15 parcelas de 100 m^2 com três subparcelas de 4 m^2 cada, totalizando 30 unidades amostrais por localidade onde foi realizado o levantamento da regeneração natural (Figura 1). O critério de inclusão para a amostragem da regeneração natural foi de indivíduos com altura $> 30\text{ cm}$ e diâmetro à altura do peito (DAP) $< 5\text{ cm}$. As espécies foram identificadas preferencialmente em campo, e, quando isso não foi possível, coletaram-se exsicatas para posterior identificação com literatura especializada (Sobral *et al.* 2013). Nas parcelas de 100 m^2 , houve o levantamento dos indivíduos adultos (DAP $\geq 5\text{ cm}$) (M. F. Rosenfield, em preparação), do qual utilizamos os dados de área basal e densidade (Figura 1).

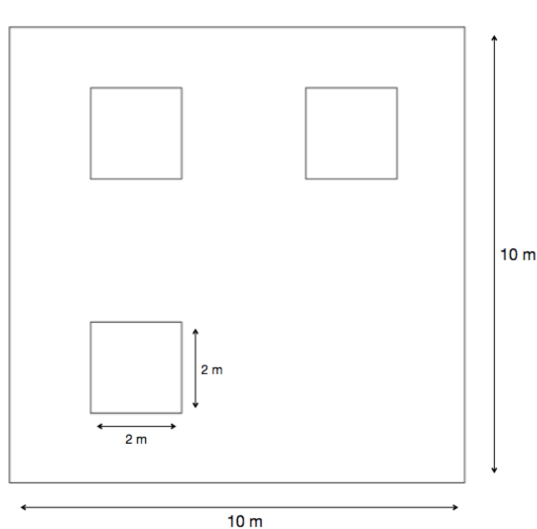


Figura 1: Representação de uma parcela e das subparcelas utilizadas para o levantamento de indivíduos adultos e da regeneração natural, respectivamente.

Quantificação da abertura de dossel

Para a quantificação da abertura do dossel foram tiradas fotos hemisféricas usando uma câmera Nikon Coolpix 995 acoplada a lentes olho-de-peixe (Figura 2). As fotos foram tiradas no mês de julho de 2016, em Santa Tereza, e setembro de 2016 em Canela. A altura da câmara foi padronizada em 190 cm, no centro das subparcelas de levantamento de regeneração natural, com a câmera voltada para o Sul. As fotos foram analisadas no *software* GapLight Analyzer 2.0 (Frazer *et al.* 1999), e a abertura do dossel foi quantificada em porcentagem de área de céu não encoberta pela vegetação (Jennings *et al.* 2009). Foi calculada a média da abertura de dossel para cada parcela, considerando as três medidas. Por fim, os dados de área basal e densidade de indivíduos adultos foram quantificados para testar seu uso como preditores da abertura de dossel.

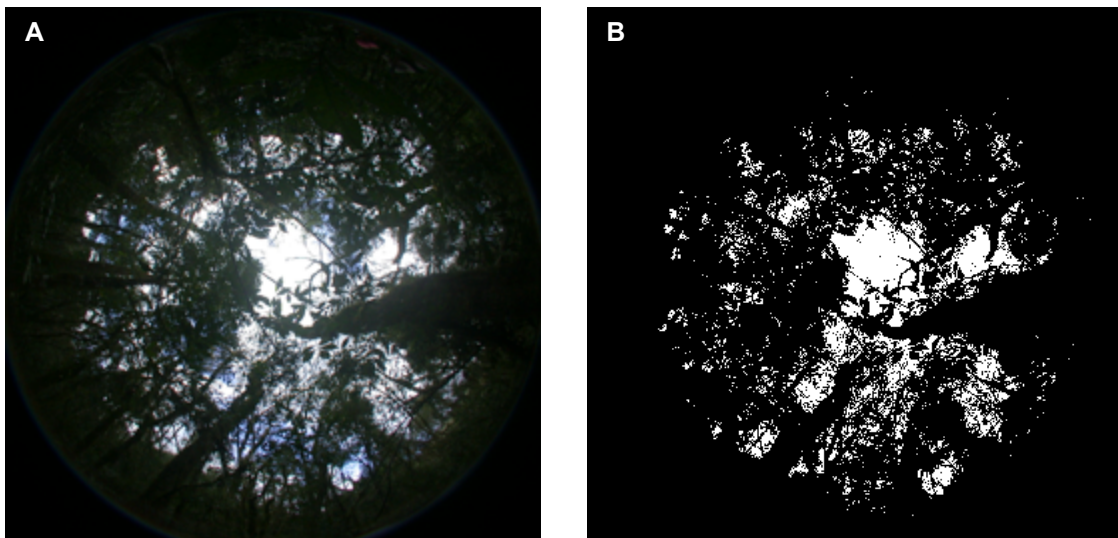


Figura 2: Exemplo de foto hemisférica (A) tirada em uma subparcela e (B) conversão da imagem em pixels claros e escuros pelo *software* GapLight Analyzer.

Análises estatísticas

As comunidades de regenerantes das áreas em restauração e florestas de referência foram avaliadas a partir de padrões de diversidade e composição de espécies, bem como da densidade e riqueza de regenerantes. Todas as análises foram feitas separadamente para cada

localidade, uma vez que os históricos de perturbação, as condições de restauração e da própria floresta de referência diferem.

A riqueza de espécies e a densidade de regenerantes foram avaliadas para cada parcela e comparadas entre os tratamentos (restauração vs. floresta) através de testes *t*. A composição das comunidades de regenerantes foi avaliada e comparada entre os tratamentos através de Análise de Coordenadas Principais (PCoA), com base no índice de dissimilaridade de Bray-Curtis, considerando a abundância das espécies. Em seguida, as diferenças na composição de espécies foram testadas por análise de variância multivariada (MANOVA), com aleatorização e 1000 iterações. Os padrões de diversidade de cada tratamento foram avaliados através de diagramas de dominância, em que as espécies são ordenadas da mais comum para a mais rara no eixo das abscissas (Melo 2008). Assim, é possível observar no eixo das abscissas a riqueza de espécies e, através da inclinação da curva, a equabilidade das espécies na comunidade (quanto maior a inclinação, menor a equabilidade) (Melo 2008).

Os valores de abertura de dossel, obtidos através das fotos hemisféricas, assim como a cobertura basal e a densidade de indivíduos adultos também foram avaliados para cada parcela e comparados entre floresta e restauração com teste *t*. Além disso, a relação entre a abertura de dossel (variável independente) e os valores de riqueza de espécies e densidade de regenerantes (variáveis dependentes) foi avaliada por regressão linear. Posteriormente, as relações entre a área basal e densidade de indivíduos adultos com a abertura de dossel (neste caso como variável dependente) foram avaliadas através de regressões lineares, para testar a eficácia do uso dessas medidas como substitutivas da informação de abertura de dossel.

As análises foram realizadas utilizando-se o *software* R para as análises com regressões lineares e testes *t*, e o *software* Multiv (disponível para *download* em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>) para a MANOVA e a Análise de Coordenadas Principais.

Resultados

Composição florística da regeneração natural

Ao todo, foram levantados 127 espécies de plantas arbóreas e arbustivas regenerantes em Canela e Santa Tereza, das quais 15 não puderam ser identificadas (Tabela 1). Na localidade de Canela, foram levantados 1559 indivíduos de 97 espécies. A espécie mais abundante foi *Cupania vernalis*, com 257 indivíduos, seguida por *Piper aduncum* com 247 indivíduos. Na área de restauração, foram 788 indivíduos de 73 espécies, sendo *C. vernalis* a mais abundante nesse tratamento. Já no tratamento Floresta, foram encontrados 771 indivíduos de 67 espécies, sendo *Mollinedia elegans* a mais comum. Não foram observadas diferenças na densidade de regenerantes ($p > 0,05$) nem na riqueza de espécies ($p > 0,05$) entre os tratamentos localidade. Contudo, a composição de espécies diferiu significativamente entre os tratamentos ($p = 0,003$), conforme evidenciado pela dispersão das unidades amostrais no diagrama de ordenação da análise de PCoA (Figura 3). O padrão de diversidade de espécies, para cada tratamento, pode ser observado nos diagramas de dominância (Figura 4). É possível observar que a Restauração é mais rica em espécies e tem maior equabilidade entre as espécies presentes que a Floresta de referência.

Tabela 1: Espécies amostradas e suas respectivas abundâncias nos tratamentos Floresta e Restauração para os municípios de Canela e Santa Tereza, Rio Grande do Sul.

	Canela		Santa Tereza	
	Floresta	Restauração	Floresta	Restauração
<i>Alchornea triplinervia</i>	2	2	-	-
<i>Allophylus edulis</i>	9	6	36	16
<i>Allophylus guaraniticus</i>	-	-	79	5
<i>Annona rugulosa</i>	1	-	3	-
<i>Annona</i> sp	1	-	-	-
<i>Annona sylvatica</i>	-	2	-	-

	Canela		Santa Tereza	
	Floresta	Restauração	Floresta	Restauração
<i>Araucaria angustifolia</i>	1	-	-	1
<i>Ateleia glazioviana</i>	-	1	-	-
<i>Baccharis semiserrata</i>	-	1	-	1
<i>Banara parviflora</i>	3	2	-	-
<i>Banara tomentosa</i>	-	-	1	-
<i>Bauhinia forficata</i>	-	5	-	-
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	8	2	-	-
<i>Boehmeria caudata</i>	-	12	-	2
<i>Cabranea canjerana</i>	2	4	-	-
<i>Calliandra foliolosa</i>	-	5	-	-
<i>Calyptanthus grandifolia</i>	1	3	-	-
<i>Calyptanthus tricona</i>	-	-	2	-
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	17	4	3	4
<i>Casearia decandra</i>	3	8	-	-
<i>Casearia sylvestris</i>	10	26	7	2
<i>Cedrela fissilis</i>	7	2	2	1
<i>Celtis iguanaea</i>	12	19	8	-
<i>Cestrum intermedium</i>	1	-	1	-
<i>Cestrum strigilatum</i>	-	-	-	4
cf. <i>Citronella gongonha</i>	-	-	1	-
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	1	-	-	-
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	1	-	3	-
<i>Citharexylum myrianthum</i>	1	-	2	-
<i>Citharexylum solanaceum</i>	-	4	-	-
<i>Citrus</i> sp.	5	1	3	-
<i>Cordia ecalyculata</i>	1	-	1	-
<i>Cordia trichotoma</i>	5	4	-	-
<i>Coutarea hexandra</i>	-	3	-	-
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	-	1	-	-
<i>Cupania vernalis</i>	96	161	198	10
<i>Dalbergia frutescens</i>	-	9	-	-
<i>Dasyphyllum spinescens</i>	1	4	-	-
<i>Diospyros inconstans</i>	-	2	-	-
<i>Endlicheria paniculata</i>	2	-	1	-
<i>Erythroxylum argentinum</i>	7	9	-	-
<i>Escallonia bifida</i>	-	-	-	72
<i>Eugenia involucrata</i>	-	-	1	7
<i>Eugenia ramboi</i>	16	2	-	-
<i>Eugenia rostrifolia</i>	-	4	-	-
<i>Eugenia uniflora</i>	-	1	7	5
<i>Ficus adathodifolia</i>	-	1	-	-
<i>Guapira opposita</i>	2	1	-	-
<i>Handroanthus albus</i>	-	-	-	2
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	-	-	-	3
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	-	-	-	9

	Canela		Santa Tereza	
	Floresta	Restauração	Floresta	Restauração
<i>cf. Handroanthus pulcherrimus</i>	-	-	-	1
<i>Hovenia dulcis</i>	-	1	-	-
<i>Inga marginata</i>	2	25	36	-
<i>Inga sessilis</i>	1	8	-	-
<i>Jacaranda micrantha</i>	-	-	-	1
<i>Justicia brasiliana</i>	1	-	35	-
<i>Leandra regnellii</i>	2	6	-	3
<i>Lonchocarpus</i> sp.	-	-	-	1
<i>Luehea divaricata</i>	6	5	2	28
<i>Machaerium paraguariense</i>	2	1	4	7
<i>Machaerium stipitatum</i>	3	-	1	-
<i>Matayba elaeagnoides</i>	12	12	-	-
<i>Maytenus evonymoides</i>	-	1	-	-
<i>Maytenus glaucescens</i>	1	-	-	-
<i>Maytenus muelleri</i>	4	2	-	-
<i>Mollinedia elegans</i>	115	10	-	-
<i>Mollinedia schottiana</i>	6	15	3	-
<i>Morus nigra</i>	-	-	-	1
<i>Myrcianthes gigantea</i>	1	-	-	-
<i>Myrcianthes pungens</i>	-	-	1	-
<i>Myrsine coriacea</i>	-	10	1	20
<i>Myrsine lorentziana</i>	-	1	-	1
<i>Myrsine</i> sp.	-	-	1	-
<i>Myrsine umbellata</i>	77	5	15	10
<i>Nectandra megapotamica</i>	75	86	121	11
<i>Ocotea puberula</i>	19	31	7	13
<i>Parapiptadenia rigida</i>	44	21	57	6
<i>Peltophorum dubium</i>	-	1	-	2
<i>Piper aduncum</i>	111	136	119	15
<i>Pisonia ambigua</i>	3	-	-	-
<i>Prunus myrtifolia</i>	6	2	2	-
<i>Psidium guajava</i>	-	-	-	1
<i>Psychotria brachyceras</i>	3	-	-	-
<i>Psychotria carthagenensis</i>	31	33	2	-
<i>Psychotria suterella</i>	2	-	201	11
<i>Quillaja brasiliensis</i>	-	3	-	-
<i>Rudgea parquioides</i>	-	1	1	-
<i>Sapium glandulosum</i>	1	4	-	-
<i>Schinus lenticifolius</i>	-	1	-	-
<i>Schinus terebinthifolius</i>	-	8	-	1
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	3	-	-	-
<i>Sebastiania serrata</i>	3	-	-	-
<i>Seguiera aculeata</i>	1	-	-	-
<i>Sloanea monosperma</i>	1	-	-	-
<i>Solanum mauritianum</i>	-	-	-	1

	Canela		Santa Tereza	
	Floresta	Restauração	Floresta	Restauração
<i>Solanum pseudoquina</i>	-	1	4	-
<i>Solanum sanctaecatharinae</i>	1	8	-	-
<i>Solanum variabile</i>	-	2	-	-
<i>Sorocea bonplandii</i>	2	2	3	-
<i>Strychnos brasiliensis</i>	1	-	-	-
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	-	2	-	-
<i>Tecoma stans</i>	-	3	-	-
<i>Trema micrantha</i>	1	3	-	-
<i>Trichilia clausenii</i>	1	1	28	-
<i>Trichilia elegans</i>	1	2	60	-
<i>Urera baccifera</i>	3	14	1	-
<i>Vasconcellea quercifolia</i>	-	1	-	-
<i>Vitex megapotamica</i>	-	1	-	-
<i>Xylosma pseudosalzmanii</i>	-	1	1	-
<i>Zanthoxylum petiolare</i>	2	2	-	-
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	3	4	-	-
Indeterminada Santa Tereza 01	-	-	2	-
Indeterminada Santa Tereza 02	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 03	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 04	-	-	-	4
Indeterminada Santa Tereza 05	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 06	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 07	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 08	-	-	18	-
Indeterminada Santa Tereza 09	-	-	1	-
Indeterminada Santa Tereza 10	-	-	10	-
Indeterminada Santa Tereza 11	-	-	1	-
Indeterminada Canela 01	1	-	-	-
Indeterminada Canela 02	2	-	-	-
Indeterminada Canela 03	1	-	-	-
Indeterminada Canela 04	-	1	-	-

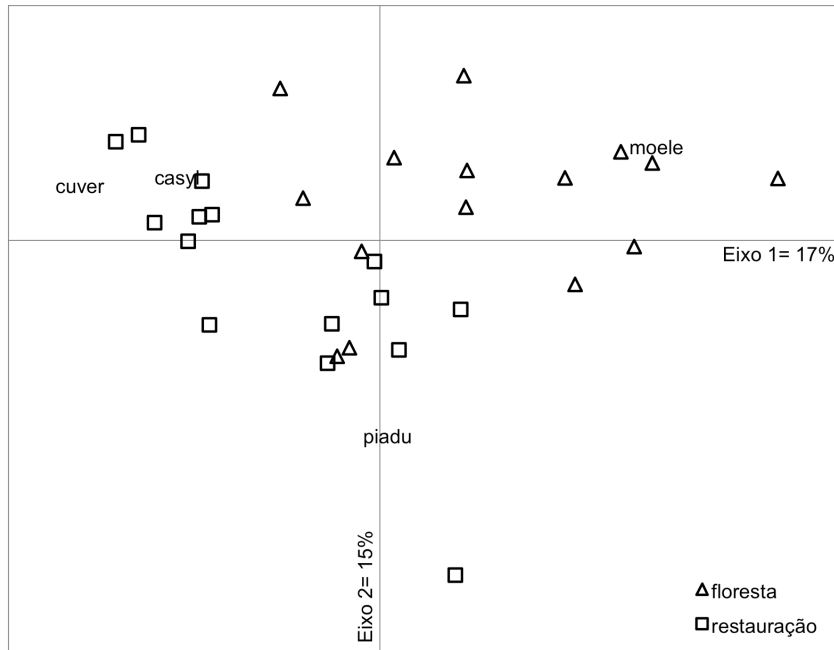


Figura 3: Diagrama de dispersão da PCoA da localidade de Canela, com base no índice de dissimilaridade de Bray-Curtis considerando a composição de espécies de cada tratamento. As espécies mais correlacionadas com os eixos estão indicadas na figura: cuver= *Cupania vernalis*, casyl= *Casearia sylvestris*, moele= *Mollinedia elegans* e piadu= *Piper aduncum*.

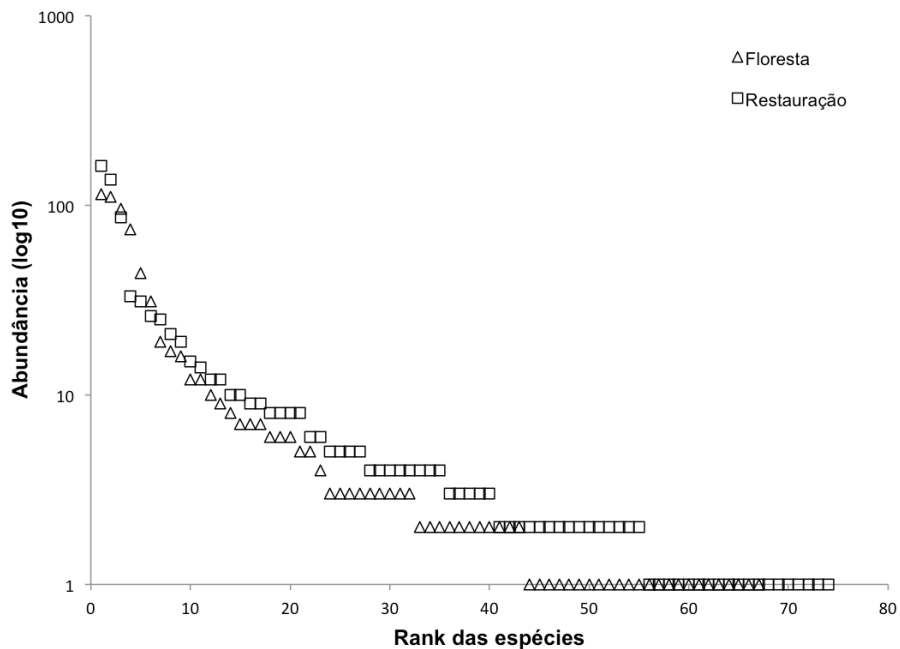


Figura 4: Diagrama de dominância das espécies para Floresta e Restauração no município de Canela. No eixo das abcissas temos o ordenamento das espécies em ordem decrescente de abundância e nas ordenadas a abundância convertida em log10.

Na localidade de Santa Tereza, foram levantados 1384 indivíduos de 74 espécies, sendo que a espécie mais abundante foi *Psychotria suterella*, com 212 indivíduos, seguida por *C. vernalis* com 208. A Restauração apresentou 283 indivíduos de 36 espécies, tendo *Escallonia bifida* como a mais abundante. Na Floresta, foram encontrados 1102 indivíduos de 54 espécies, sendo a mais comum *P. suterella*. A densidade de regenerantes foi significativamente menor na Restauração comparada à Floresta ($t = -8,63$; $p < 0,001$) (Figura 5A), assim como a riqueza de espécies ($t = -4,60$; $p < 0,001$) (Figura 5B). A composição de espécies diferiu significativamente entre os tratamentos ($p = 0,001$) e, conforme mostra a Figura 6, a comunidade de regenerantes na Floresta é bem mais homogênea entre as parcelas amostradas do que a comunidade da Restauração. O padrão de diversidade, dado pelo diagrama de dominância (Figura 7), também demonstra diferenças entre os tratamentos, onde observa-se a maior riqueza de espécies na Floresta, porém uma maior equabilidade entre as espécies na Restauração.

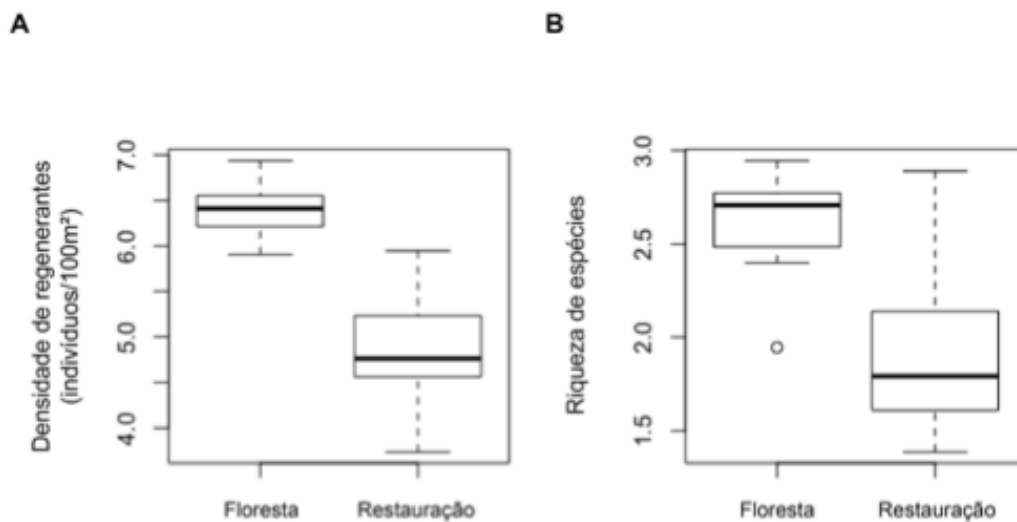


Figura 5: Box plot comparando a Densidade de regenerantes (A) e a Riqueza de espécies (B), entre Floresta e Restauração em Santa Tereza. Os valores da densidade de regenerantes e riqueza de espécies estão em escala logarítmica.

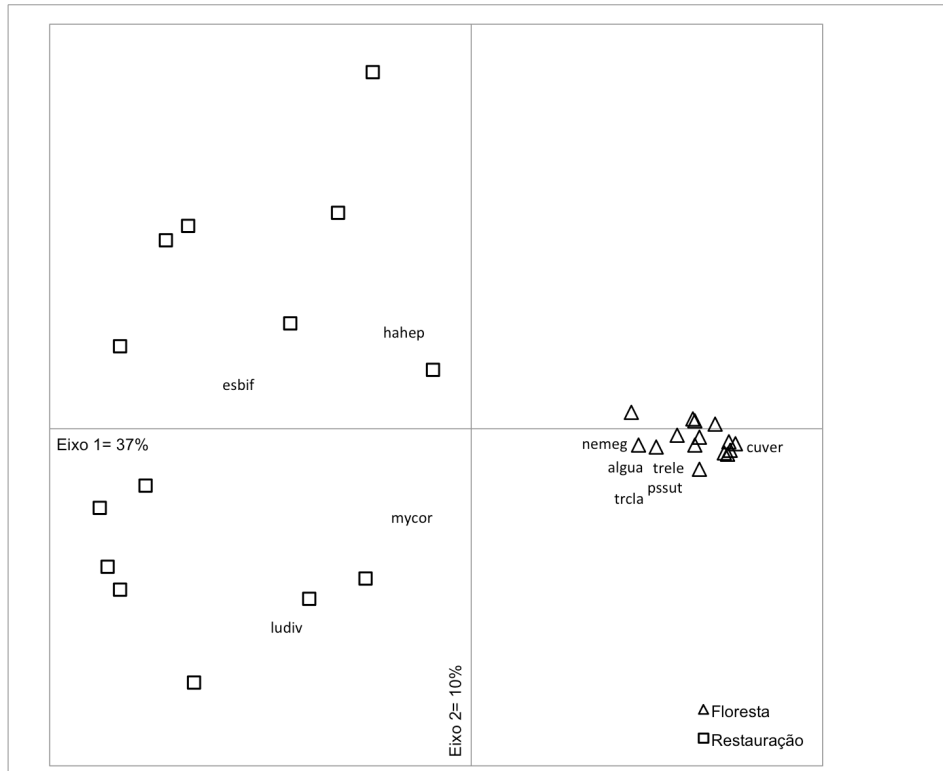


Figura 6: Diagrama de dispersão da PCoA da localidade de Santa Tereza, com base no índice de dissimilaridade de Bray-Curtis considerando a composição de espécies de cada tratamento. As espécies mais correlacionadas com os eixos estão indicadas na figura: alqua= *Allophylus guaraniticus*, cuver= *Cupania vernalis*, esbif= *Escallonia bifida*, hahep= *Handroanthus heptaphyllus*, ludiv= *Luehea divaricata*, mycor= *Myrcine coriacea*, nemeg= *Nectandra megapotamica*, pssut= *Psychotria suterella*, trcla= *Trichilia clausenii* e trele= *Trichilia elegans*.

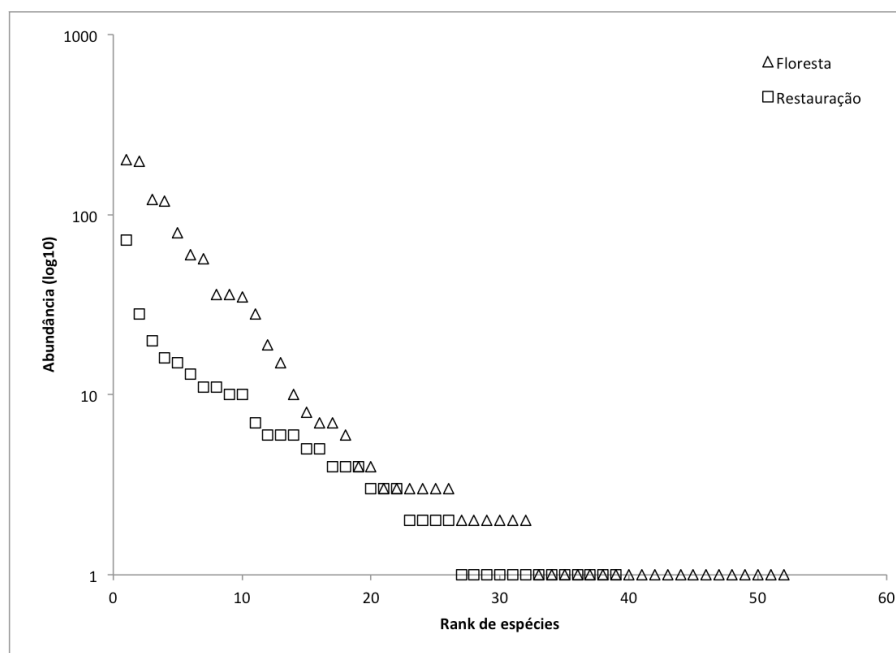


Figura 7: Diagrama de dominância das espécies para Floresta e Restauração no município de Santa Tereza. No eixo das abcissas temos o rank das espécies e nas ordenadas a abundância convertida em log10.

Abertura de dossel

Quanto aos parâmetros de abertura de dossel, em Canela, a Restauração apresentou uma densidade média de adultos de 27,6 indivíduos/100m² contra 19,3 indivíduos/100m² encontrados da Floresta (t= 2,89; p= 0,007) (Figura 8A). Já a área basal média da Floresta foi de 0,39m²/100m² contra 0,22 m²/100m² da Restauração (t= -3,19; p= 0,003) (Figura 8B). Apesar disso, as fotos hemisféricas não mostraram diferenças na abertura de dossel entre os tratamentos (p > 0,05), sendo a abertura média para a Floresta de 9,87% e para a Restauração de 9,60%.

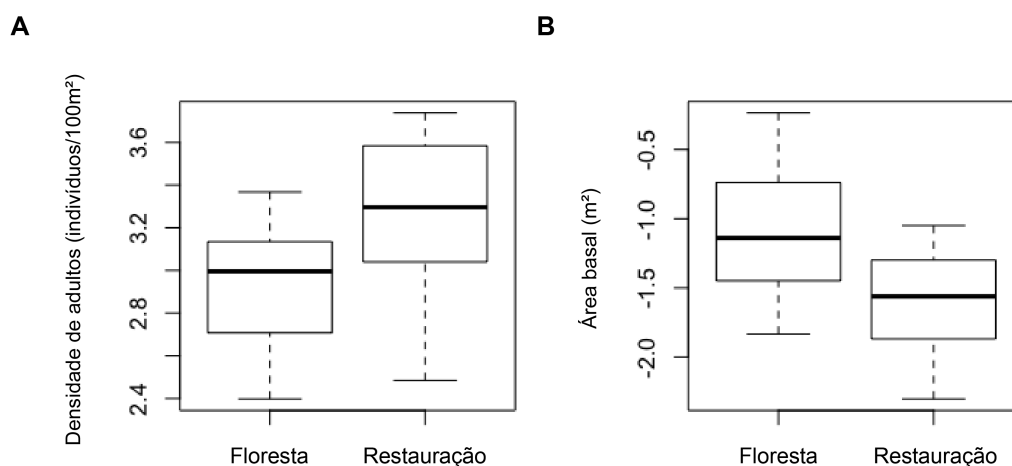


Figura 8: Box plot comparando a densidade de adultos (A) e a área basal (B) entre Floresta e Restauração em Canela. Tanto os valores de densidade de adultos quanto os de área basal estão em escala logarítmica.

Em Santa Tereza, a densidade de adultos não diferiu entre os tratamentos, sendo que a média foi de 14,47 indivíduos/100m² para a Floresta e de 17,27 indivíduos/100m² para a Restauração (p > 0,05). A área basal foi significativamente menor na Restauração que na Floresta (t= -3,51; p= 0,001) (Figura 9A), com média de 0,33m²/100m² para a Floresta e de 0,15m²/100m² para a Restauração. As fotos hemisféricas mostraram uma abertura de dossel maior na Restauração comparada à Floresta (t= 8,02; p < 0,001) (Figura 9B), com média de 12,93% para a Floresta e de 18,79% para a Restauração.

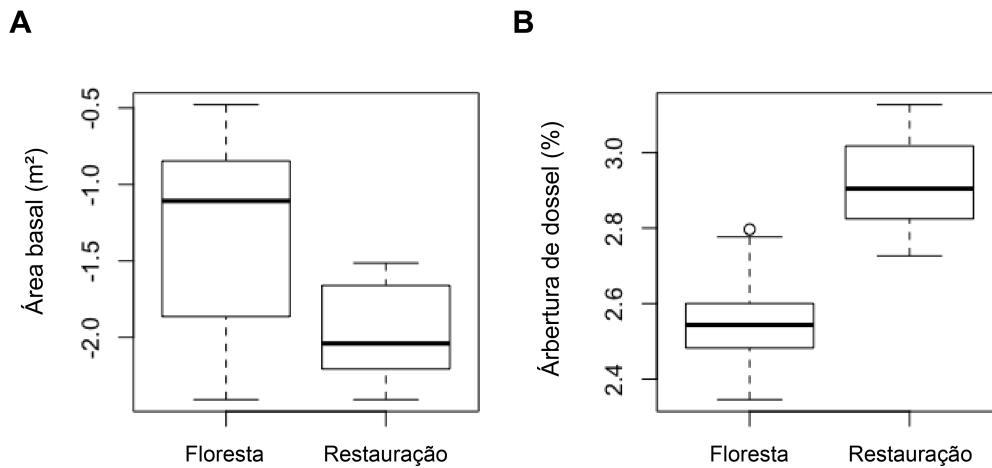


Figura 9: Box plot comparando a área basal (A) e a abertura de dossel (B) entre Floresta e Restauração em Santa Tereza. Os valores de área basal e abertura de dossel estão em escala logarítmica.

A relação entre a abertura de dossel com a riqueza de espécies e densidade de indivíduos presentes na regeneração natural não foi significativa, tanto para Canela quanto Santa Tereza ($p > 0,05$ para ambas as comparações em ambas as localidades)

Área basal e densidade de adultos como preditores da abertura de dossel

Tanto Canela quanto Santa Tereza não apresentaram relação entre a densidade de adultos e a abertura de dossel ($p > 0,05$) (Figura 10A e B). Em Canela a relação entre área basal e abertura de dossel também não foi significativa ($p > 0,05$) (Figura 10C), mas em Santa Tereza sim, mostrando uma redução na abertura do dossel a medida que a área basal aumenta ($t = -3,14$; $p = 0,004$) (Figura 10D).

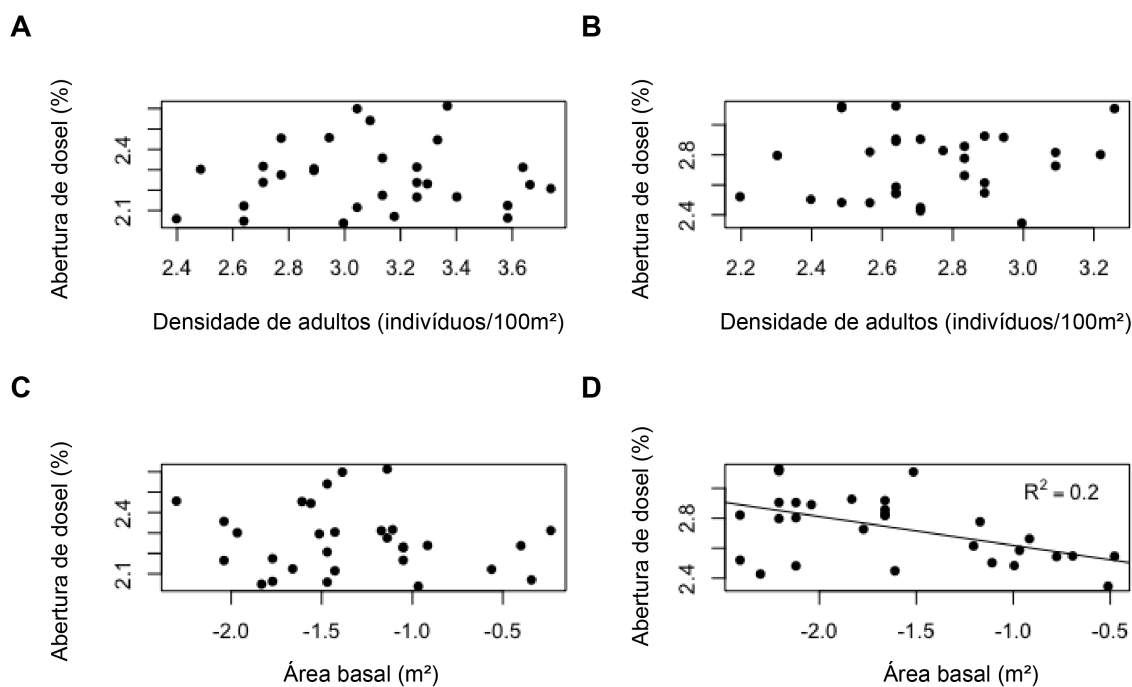


Figura 10: Diagramas de dispersão relacionando a abertura de dossel com a densidade de adultos em Canela (A) e em Santa Tereza (B), e com a área basal em Canela (C) e em Santa Tereza (D). Todos os valores estão em escala logarítmica.

Discussão

Neste trabalho objetivamos avaliar diversos padrões da regeneração natural de áreas em restauração e compará-los com áreas florestais de referência, bem como avaliar o quanto a abertura do dossel, uma característica chave e alvo principal em projetos de restauração florestal, tem relação com a densidade e a riqueza de espécies regenerantes. Os dados de composição florística mostraram que as áreas restauradas em Canela e Santa Tereza estão em estágios sucessionais bastante distintos entre si. Ambas as áreas de restauração apresentaram uma composição de espécies distinta da referência, o que é esperado já que houve uma seleção das mudas plantadas para restauração. Com o tempo, espera-se que espécies oriundas da matriz colonizem o local, reduzindo essa diferença (SER 2004, Rodrigues *et al.* 2009, Nery *et al.* 2013). Ainda assim, a restauração em

Canela teve grande representatividade de espécies que ocorrem em florestas secundárias tardias, como *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis*, e *Nectandra megapotamica*, além de não diferir da referência em termos de riqueza e densidade de regenerantes. Essas características demonstram que boa parte dos parâmetros desejáveis na trajetória sucessional da restauração já foram alcançados (SER 2004) na área de Canela. Estudos de dinâmica sucessional em florestas mostram que parâmetros estruturais como área basal, altura máxima e média têm uma evolução muito mais rápida que a composição de espécies (Zanini *et al.* 2014, Suganuma & Durigan 2015). Essa evolução das características estruturais, contudo, parece se dar de maneira muito mais lenta em florestas sucessionais (30 a 45 anos no estudo de Zanini *et al.* 2014) do que em florestas restauradas (10 anos neste estudo), mostrando que intervenções nesse sentido realmente podem acelerar a recuperação de parâmetros estruturais. A composição de espécies, porém, permanece como uma característica que demanda mais tempo em ambos os casos.

A área em restauração de Santa Tereza, por sua vez, mostrou uma maior diferença em relação à floresta de referência, diferindo em todos os parâmetros avaliados. A densidade de regenerantes foi sensivelmente menor na restauração, assim como a riqueza de espécies. Essa diferença em riqueza é certamente um reflexo da densidade, uma vez que existe uma relação direta entre o número de indivíduos e a riqueza de espécies encontrada em uma amostra. Também houve diferenças na composição de espécies e na diversidade das comunidades de restauração e de referência. A restauração apresentou uma forte dominância da espécie pioneira *Escallonia bifida*, além de diversas outras espécies de caráter pioneiro como *Myrsine* spp. e *Cestrum strigilatum*. Esse conjunto de características nos indica que, apesar de possuir um tempo de restauração similar à Canela, a trajetória de restauração na área de Santa Tereza está progredindo mais lentamente, estando ainda muito distinta da área de referência. A progressão mais lenta pode ser produto das técnicas

utilizadas e espécies escolhidas para o plantio na restauração, ou ainda estar relacionada ao histórico de uso da terra. Como demonstram Mesquita *et al.* (2001) em áreas desmatadas na Amazônia, locais onde não houve uso da terra após o desmatamento tiveram uma recuperação mais rápida que locais cuja área tenha sido utilizada para pastejo.

Além dos padrões de composição florística do sub-bosque, padrões estruturais e de abertura do dossel também variam entre os estágios sucessionais (Nicotra *et al.* 1999, Vaccaro *et al.* 1999, Ruschel *et al.* 2009, Zanini *et al.* 2014). As duas localidades diferiram quanto ao grau de recuperação destes parâmetros. A área de restauração de Santa Tereza apresentou uma maior abertura de dossel em relação à floresta, enquanto Canela não apresentou diferenças na abertura de dossel entre os tratamentos. A diferença de abertura do dossel observada em Santa Tereza parece relacionada à área basal das árvores adultas, uma vez que foi identificada uma correlação negativa desta com a abertura de dossel. Sabe-se que tanto a área basal quanto a densidade de adultos têm influência sobre a abertura de dossel (Mitvhell & Poppvich 1997, Hale 2004), porém no presente estudo não foi observada a relação com a densidade em ambas as localidades. Nas áreas de Canela, os dois parâmetros tiveram padrões distintos entre si: a densidade de adultos foi maior na restauração, enquanto que a área basal foi maior na floresta. Esses parâmetros podem estar compensando um ao outro e mascarando a relação de cada um com a abertura de dossel. Já em Santa Tereza, como apenas a área basal mostrou diferenças significativas entre os tratamentos, foi observada a relação desta com a abertura de dossel. Contudo, Mitchell & Popovich (1997) mostraram que a relação da área basal e da abertura de dossel não é linear, com uma redução na precisão da correlação quando a cobertura de dossel é maior que 60%.

Os dados de abertura de dossel também foram relacionados com a riqueza e densidade de regenerantes, e, ao contrário do esperado, essas relações não foram

significativas em nenhuma das localidades. Bebber *et al.* (2002), por exemplo, encontrou uma relação positiva entre o crescimento de regenerantes e a abertura de dossel, e Dupuy & Chazdon (2008) encontraram maior recrutamento e uma composição de espécies distintas sob clareiras, onde a luminosidade é maior. Outros fatores podem estar influenciando os padrões de regeneração natural. Processos ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes e disponibilidade de recursos no solo, também tem grande importância no estabelecimento de plantas em florestas. Brealey *et al.* (2003), por exemplo, mostraram que a adição de serapilheira aumenta o crescimento de plântulas, e que a associação simbiótica com ectomicorrizas aumenta a absorção de nutrientes por essas plântulas. Avaliar esses e demais características do ecossistema relacionadas à regeneração natural poderia indicar outros fatores determinantes desse processo em restaurações florestais. Além disso, é importante salientar que riqueza e densidade de regenerantes representam uma síntese das comunidades e não estão associados à identidade das espécies regenerantes. É possível que diferentes grupos de espécies estejam associados a diferenças de abertura de dossel sob estas florestas, mantendo a riqueza e a densidade pouco alteradas.

De modo geral, as áreas em restauração ainda diferem das áreas de referência em aspectos importantes, como composição de espécies, porém os resultados demonstram padrões da regeneração natural que já se assemelham à meta da restauração florestal, especialmente para a localidade de Canela. Essa localidade demonstrou semelhança na abertura de dossel, riqueza e densidade de regenerantes entre os tratamentos. Entretanto, o mesmo não foi observado em Santa Tereza, onde todos os parâmetros avaliados diferiram entre restauração e floresta de referência. Mesmo com diferenças de abertura do dossel nesta localidade, não houve relação com os parâmetros de riqueza de espécies e densidade na regeneração natural. Como ambas as localidades tinham tempo similar de restauração,

outros fatores, como estado de degradação e histórico de uso da terra, estão potencialmente influenciando o processo de regeneração natural das áreas de restauração.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer imensamente a todos os colegas que me ajudaram de alguma forma no decorrer desse projeto, em especial à Milena Rosenfield pela orientação e auxílio em todas as etapas da elaboração do trabalho e ao Rene Porciuncula por toda ajuda nas coletas de dados em campo. Agradeço, também, ao LEVEG e ao LEPeC por fornecerem os materiais e recursos necessários para a realização deste trabalho.

Referências

BEBBER, D., BROWN, N., SPEIGHT, M., MOURA-COSTA, P & WAI, Y. S. 2002. Spatial structure of light and dipterocarp seedling growth in a tropical secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 157: 65-75.

BREARLEY, R. Q., PRESS, & SCHOLLES J. D. 2003. Nutrients obtained from leaf litter can improve the growth of dipterocarp seedlings. *New Phytologist*, 160: 101-110.

CHAZDON, R. L., PEARCY, R. W., LEE, D. W. & FETCHER, N. 1996. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: MULKEY, S. S., CHAZDON, R. L. & SMITH, A. P. (Ed.). *Tropical forest plant ecophysiology*. New York: Chapman and Hall. p. 5-55.

DOBSON, A. P., BRADSHAW, A. D. & BAKER, A. J. M. 2008. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science*, 277: 515–522.

DUPUY, J. M. & CHAZDON, R. L. 2008. Interacting effects of canopy gap, understory vegetation and leaf litter on tree seedling recruitment and composition in tropical secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 255: 3716-3725.

DA FONSECA, D. A. 2013. *Regeneração natural em áreas de floresta ciliar em processo de restauração ecológica*. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FRAZER, G. W., CANHAA, C. D. & LERTZMAM, K. P. 1999. *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, BC & The Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY. 40 p.

- GARCIA, L. C., DE REZENDE, M. Q., PIMENTA, M. A., MACHADO, R. M. & LEMOS-FILHO, J. P. 2007. Heterogeneidade do dossel e quantidade de luz no recrutamento do sub-bosque de uma mata ciliar no Alto São Francisco, Minas Gerais: análise através de fotos hemisféricas. *Revista Brasileira de Biociências*, 5: 99-101.
- GUARIGUATA, M. R. & OSTERTAG, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148: 185–206.
- HALE, S. 2004. Managing light to enable natural regeneration in british conifer forests. *Forestry commission*, 63: 1-6.
- HAMMOND, D. S. 1995. Post-dispersal seed and seedling mortality of tropical dry forest trees after shifting agriculture, Chiapas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 11: 295–313.
- HARDY, J. P., MELLOH, R., KOENING, G., MARKS, D. WINSTRAL, A., POMEROY, J. W. & LINK, T. 2004. Solar radiation transmission through conifer canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165: 257-270.
- IBGE. 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2nd ed. Rio de Janeiro: L. Martins & R. Cavararo. 271 p.
- IBGE. 2004. Mapa de vegetação do Brasil. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf> Acesso em: 8 nov 2016.
- JARENKOW, J. A. & WAECHTER, J. L. 2001. Composição, estrutura e relações florísticas de componentes arbóreos de uma floresta estacional no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 263-272.
- JENNINGS, S. B., BROWN, N. D. & SHEIL, D. 1999. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72: 59–74.
- LAMB, D., ERSKINE, P. D. & PARROTTA, J. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310: 1628–1632.
- MELO, A. S. 2008. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotropical*, 3: 21-27.
- MESQUITA, R. C. G., ICKES, K., GANADE, G. & WILLIAMSON, G. B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. *Journal of Ecology*, 89: 528-537.
- MITCHELL, J. E. & POPOVICH, S. J. 1997. Effectiveness of basal area for estimating canopy cover of ponderosa pine. *Forest Ecology and Management*, 95: 45–51.
- NERY, E. R. A, SARAIVA, C. S. CRUZ, L. M. S., SOUZA, M. M. O. R., GOMES, F. S., EL-HANI, C. A. & MARIANO-NETO, E. 2013. The restoration concept in the scientific literature and in the brazilian law. *Revista Caititu*, 1: 43–56.

NICOTRA, A. B., CHAZDON, R. L. & IRIARTE, S. V. B. 1999. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology*, 80: 1–17.

NOTMAN, E. & GORCHOV, D. L., 2001. Variation in post-dispersal seed predation in mature Peruvian lowland tropical forest and fallow agricultural sites. *Biotropica*, 33: 621-636.

PEEL, M. C., FINLAYSON B. L. & MCMAHON, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Science*, 15: 259-263.

RAICH, J. W. & KHOON, G. W. 1990. Effects of canopy openings on tree seed germination in a Malaysian dipterocarp forest. *Journal of Tropical Ecology*, 6: 203-217.

RODRIGUES, R. R, LIMA, R. A. F., GANDOLFI, S. & NAVE, A. G. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the brazilian atlantic forest. *Biological Conservation*, 142: 1242–1251.

RUSCHEL, A. R., MANTOVANI, M., DOS REIS, M. S. & NODARI, R. O. 2009. Characterization and dynamics of two successional stages of secondary atlantic forest. *Revista árvore*, 33: 101–115.

SASAKI, S. & MORI, T. 1981. Growth response of dipterocarp seedlings to light. *Malaysian Forester*, 44: 319-345.

SER. 2004. Princípios da ser international sobre a restauração ecológica. *SER - society for ecological restoration international*, p. 15. Disponível em: <<http://www.ser.org/>> Acesso em: 8 nov 2016.

SOBRAL, M., JARENKOW, J. A., BRACK, P., IRGANG, B., LAROCCA, J. & RODRIGUES, R. S. 2013. *Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil*. 2nd ed. São Carlos: RiMa editora. 357 p.

SUGANUMA, M. S. & DURIGAN, G. 2015. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple references ecosystems. *Restoration Ecology*, 23: 238-251.

VACCARO, S., LONGHI, S. J. & BRENA, D. A. 1999. Floristic composition aspects and forest successional categories of three subseres in a deciduous seasonal forest, in the district of Santa Tereza - RS. *Ciencia Forestal*, 9: 1–18.

WANG, Y. H. & AUGSPURGER, C. 2004. Dwarf palms and cyclanths strongly reduce Neotropical seedling recruitment. *Oikos*, 107: 619–633.

YOUNG, T. P. 2000. Restoration ecology and conservation biology. *Biological conservation*, 92: 73–83.

ZANINI, K. J., BERGAMIN, R. S., MACHADO, R. E., PILLAR, V. D. & MÜLLER, S. C. 2014. Atlantic rain forest recovery: successional drivers of floristic and structural patterns of secundar forest in southern Brazil. *Journal of Vegetation Science*, 25: 1056-1068.