**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Contribuição de fatores biofísicos e socioeconômicos para a
regeneração de florestas tropicais: implicações para a definição de
áreas prioritárias para restauração**

Mónica Lorena Borda Niño

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção: Conservação de Ecossistemas
Florestais

**Piracicaba
2019**

Mónica Lorena Borda Niño
Bióloga

**Contribuição de fatores biofísicos e socioeconômicos para a regeneração
de florestas tropicais: implicações para a definição de áreas prioritárias
para restauração**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PEDRO HENRIQUE SANTIN BRANCALION**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção: Conservação de Ecossistemas
Florestais

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Borda Niño, Mónica Lorena

Contribuição de fatores biofísicos e socioeconômicos para a regeneração de florestas tropicais: implicações para a definição de áreas prioritárias para restauração / Mónica Lorena Borda Niño. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

81 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Sucessão secundária 2. Determinantes espaciais 3. Paisagem antrópica 4. Agricultores I. Título

DEDICATÓRIA

A la mananda Niño, a su nueva integrante y al amor de mis amores

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG, Brasil) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida.

Ao prof. Dr. Pedro Brancalion, meu orientador e professor, pelo apoio pessoal e institucional para vir e permanecer no Brasil. Muito obrigada por acreditar no meu projeto. Agradeço também a Paula Meli pelas contribuições realizadas a esta tese, sempre muito sabias, oportunas e flexíveis.

No México, agradeço a minha amiga e colega Eliane Ceccon pelas enriquecedoras conversas sobre meu assunto de pesquisa, pelos seus ensinamentos da língua portuguesa e pela segurança que me transmitiu através das observações realizadas aos documentos revisados. Ao professor Jean Francois Mas pelas contribuições realizadas. O tempo que compartilhei com ele foi curto, mas o aprendizado foi enorme. Agradeço a meu parceiro e colega Diego Hernández pelas conversas sobre a discussão dos capítulos, pela ajuda com o inglês e suas boas contribuições à metodologia. Agradeço também ao pesquisador Francisco Mora Ardila pelo apoio recebido com a análise estatística e a Aline Fransozi pela ajuda recebida na elaboração dos mapas de cobertura do solo da bacia.

Aos proprietários rurais da bacia do Rio Corumbataí, SP, que responderam com muita paciência e confiança as entrevistas. Agradeço ao Frei Sermo Dorizotto pela entrevista concedida sobre o seu livro “O bairro de Recreio”. Ao pessoal do CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral), particularmente aos engenheiros agrônomos Marcelo Kviatkovski (CATI Corumbataí), Luiz Antônio Scotton (CATI Ipeúna) e Melissa Pin Lucheti (CATI Charqueada). Sua ajuda foi fundamental para conhecer a área de estudo e ter acesso aos proprietários entrevistados.

Às pessoas que me auxiliaram no campo, particularmente a Diego Hernández, Sergio Lozano, Paula Meli, Ricardo Ortega, Natalia Naranjo, Lina Gonzáles, Rafael Leite e José Amarildo da Fonseca. Agradeço também ao pessoal do LASTROP, em especial a Andreia Moreno pelos seus bons conselhos, pela paciência de carangueja e por fazer do laboratório um local gostoso para trabalhar.

À República Saia Daqui: a Renata Melo, Priscilla Melo e Renata Brito, que fizeram da nossa casa um doce e aconchegante lar. Também agradeço a Luciana Cavalcante por me receber na sua casa quando cheguei em Piracicaba, sendo a primeira pessoa linda e gentil que conheci no Brasil.

Aos meus amigos pelas risadas, a dança e as conversas na Maria. Agradeço ao pessoal do RU por me alimentar quase todos os dias, e por fim, agradeço a minha bicicleta, as aulas de Yoga e à piscina do XV. Sem vocês nada disto teria sido possível.

Obrigada Pira, amei esta cidade.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Contextualização	9
1.2. Objetivo.....	11
1.3. Estrutura da tese	11
Referências.....	12
2. DETERMINANTES BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS DA REGENERAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS: UMA REVISÃO DESDE 1990	15
Resumo	15
Abstract.....	15
2.1. Introdução	15
2.2. Metodologia	17
2.2.1. Busca de literatura.....	17
2.2.2. Análises de dados	18
2.3. Resultados.....	20
2.4. Discussão	24
2.5. Conclusões	29
Referências.....	30
Apêndices	36
3. DETERMINANTES BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS DA REGENERAÇÃO NATURAL DE FLORESTAS TROPICAIS EM PAISAGENS AGRÍCOLAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO CORUMBATAI NO ESTADO DE SÃO PAULO.	41
Resumo	41
Abstract.....	41
3.1. Introdução	41
3.2. Metodologia	44
3.2.1. Área de estudo.....	44
3.2.2. Métodos.....	47
3.2.2.1. Variável resposta.....	47
3.2.2.2. Variáveis preditivas	48
3.2.2.3. Extração dos dados e desenvolvimentos do Modelo Linear Generalizado Misto.....	51
3.3. Resultados.....	52
3.3.1. Survey social: resultados gerais.....	53
3.3.2. Fatores biofísicos e socioeconômicos que influem na regeneração florestal.....	54
3.4. Discussão	56
3.5. Conclusões	61
Referências.....	61
Apêndices	67
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
Referências.....	81

RESUMO

Contribuição de fatores biofísicos e socioeconômicos para a regeneração de florestas tropicais: Implicações para a definição de áreas prioritárias para restauração

A restauração de florestas e paisagens florestais são estratégias necessárias para deter o efeito negativo que décadas de desmatamento de florestas tropicais e para recuperar a biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos. O manejo da regeneração natural pode ser uma ferramenta viável tanto em termos ecológicos como socioeconômicos para atingir as recentes metas de restauração de florestas e paisagens florestais estabelecidas em nível global, regional e nacional. O objetivo desta pesquisa foi analisar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas tropicais, visando oferecer elementos para o planejamento da restauração de florestas e paisagens florestais e o desenvolvimento de estratégias de restauração mais custo-efetivas. Para atingir esse objetivo, realizamos uma revisão sistemática da literatura científica publicada entre 1990 e 2017 a fim de descrever as metodologias mais utilizadas para identificar as áreas de florestas tropicais em regeneração em diferentes escalas (paisagem, regional, nacional e continental) e os determinantes biofísicos e socioeconômicos deste processo. Complementarmente, utilizamos como modelo uma bacia hidrográfica dominada por agricultura no sudeste do Brasil para avaliar a influência dos determinantes biofísicos e socioeconômicos, esses últimos associados ao proprietário e à propriedade rural, na regeneração florestal entre os anos 1995 e 2018. A maioria das informações socioeconômicas associadas ao proprietário e à propriedade rural foi obtida através de uma pesquisa social, no qual a propriedade rural foi escolhida como unidade de estudo. Na revisão sistemática da literatura, verificamos que os algoritmos de classificação automática e a variação da cobertura florestal foram as metodologias mais utilizadas para a detecção de áreas em regeneração florestal e para descrever o efeito dos determinantes biofísicos e socioeconômicos nesse processo. A declividade e a proximidade aos fragmentos de floresta foram os principais fatores biofísicos que influenciaram positivamente a regeneração, ao passo que a inserção em áreas de proteção ambiental e a menor proximidade a centros populacionais foram os principais fatores socioeconômicos promotores da regeneração. No estudo de caso, os principais fatores biofísicos que influenciaram positivamente a regeneração foram aqueles associados à aptidão agrícola do solo e à facilidade de dispersão de sementes para as áreas em regeneração. Entre os fatores socioeconômicos promotores da regeneração, destacaram-se a elevada heterogeneidade de cobertura do solo presentes na propriedade rural e a baixa dependência econômica do proprietário da renda gerada pelas atividades produtivas realizadas na propriedade. Nossos resultados da revisão sistemática podem ajudar no desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal em larga escala, ao passo que os resultados do estudo de caso mostram a importância de complementar avaliações de larga escala com dados mais detalhados sobre o efeito local dos fatores biofísicos e socioeconômicos para que tanto os modelos preditivos quanto as atividades de restauração sejam melhor sucedidos.

Palavras-chave: Florestas secundárias, Restauração ecológica, Sucessão secundária, Determinantes espaciais, Paisagem antrópica, Agricultores

ABSTRACT

Contribution of biophysical and socioeconomic factors to the regeneration of tropical forest: implication for the definition of priority areas for restoration

Forest and landscape restoration is necessary to halt the negative effects that decades of deforestation produced on biodiversity and ecosystem service provision. The management of natural regeneration can be a viable tool both ecologically and socioeconomically to achieve commitments of forest and landscape restoration established at regional, national and global levels. The aim of this research was to analyze the influence of biophysical and socioeconomic drivers on natural regeneration of tropical forest and to provide elements for the planning of forest and landscape restoration with the development of cost-effective restoration strategies. To achieve this objective, we developed a systematic literature review from 1990 to 2017 to describe the methodologies employed to identify regenerating tropical forests at different spatial scales (landscape, region, national and continental) and to identify the biophysical and socioeconomic drivers of this process. Complementarily, we used as a model a hydrographic basin in the southeast of Brazil dominated by agricultural uses to evaluate the influence of biophysical and socioeconomic drivers, the latter associated with the owner and the rural property, on natural regeneration of forest between 1995 and 2018. Most of the socioeconomic information associated with the owner and the rural property was obtained through a social survey, in which the rural property was chosen as study unit. With the systematic review, we verified that the transition matrix and the forest cover change were the most common procedures to detect regenerating tropical forest and to describe the effect of biophysical and socioeconomic drivers on this process. Slope and proximity to forest remnants were the main biophysical drivers positively influencing natural regeneration, while the insertion in Protected Areas and the highest distance from population centers were the main socioeconomic drivers that positively promoted natural regeneration of forest. In the case study, the main biophysical drivers that influenced positively forest natural regeneration were those associated to the agricultural suitability of soil and seed dispersal feasibility toward the regenerated areas. Among socioeconomic drivers that positively influenced forest natural regeneration were highlighted the high heterogeneity of land covers in the rural property and the owner's low economic dependence over the activities done in the property. The results from the systematic review can be used to develop predictive models of natural regeneration at large scale, while the results from the case study revealed the importance of additional large scale evaluation with detailed data about the local effect of biophysical and socioeconomic drivers in order to secure successful predictive models and restoration activities.

Keywords: Secondary forest, Ecological restoration, Secondary succession, Spatial drivers, Human-modified landscape, Farmers

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

As florestas tropicais exibem as taxas mais elevadas de conversão a terras agrícolas em todo o mundo (Dobson et al., 2006; Hansen et al., 2013; Lawrence e Vandecar, 2015; Sloan e Sayer, 2015). Ao mesmo tempo, algumas regiões tropicais têm evidenciado uma recuperação parcial da cobertura florestal, devido a projetos de reflorestamento ou à expansão de florestas regeneradas naturalmente em terras degradadas que foram abandonadas (MacDicken, 2015; Rudel et al., 2016; Abbas et al., 2016). Globalmente, estima-se que entre 2000 e 2012, 2,3 milhões de km² de florestas foram desmatadas e 0,8 milhões de km² de novas florestas foram obtidas através da regeneração natural e das atividades de reflorestamento (Hansen et al., 2013). Levando em consideração unicamente as florestas naturais, a taxa de perda líquida diminuiu de 10,6 milhões de ha, entre 1990 a 2000, para 6,5 milhões de ha por ano a partir de 2010 e até 2015 (MacDicken et al., 2016).

Os impactos negativos à biodiversidade e ao bem-estar das pessoas decorrentes da extensa perda e degradação das florestas tropicais (Dobson et al., 2006; Díaz et al., 2018), têm levado ao estabelecimento de políticas internacionais para a restauração de florestas em grande escala. Entre os anos de 2010 a 2014 foram diversas as iniciativas propostas no nível nacional, regional e global, para restaurar mais de 350 milhões de hectares de florestas degradadas até 2030. Entre elas destacam, o desafio “Bonn Challenge” que, lançado em 2014 na cúpula mundial sobre o clima das Nações Unidas em Nova York, propôs a meta de restaurar 150 milhões de hectares desmatados no planeta até 2020 e, a partir daí, 200 milhões de hectares adicionais até 2030. Nesse mesmo ano, na Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas em Lima, foi proposta a meta de restaurar 20 milhões de hectares de florestas degradadas para a América Latina e o Caribe até 2020 (Suding et al., 2015; WRI, 2018). Por fim, a Organização das Nações Unidas declarou que a década de 2021-2030 será a década da restauração de ecossistemas (ONU, 2019). Atingir esses compromissos internacionais demanda a adoção de estratégias efetivas de restauração em larga escala e, para isso, a superação de importantes obstáculos, como a competição pelo uso da terra (Latawiec et al., 2015) e limitação de recursos para implantação e monitoramento das atividades restauração florestal (Holl, 2017). Adicionalmente, é imperativo desenvolver estratégias de restauração de florestas que se adaptem às diferentes realidades socioecológicas dos países participantes dos programas de restauração (Meli et al., 2017a).

Nesse contexto, a restauração de paisagens florestais oferece uma valiosa oportunidade de restauração de florestas em larga escala (Brancalion et al., 2017). A restauração de paisagens florestais tem como alvo o restabelecimento da funcionalidade ecológica de paisagens degradadas por meio da criação de paisagens heterogêneas, manejadas com múltiplos propósitos, que buscam aliar a conservação da biodiversidade com o bem-estar das pessoas (Laestadius et al., 2015; Sabogal et al., 2015). As estratégias propostas para alcançar esses objetivos são diversas, e vão desde a condução da regeneração natural para o restabelecimento do ecossistema florestal, até a

criação de sistemas agroflorestais ou de plantios de mudas de espécies nativas e exóticas em atividades de restauração florestal (Stanturf et al., 2014; Chazdon e Guariguata, 2016). As atividades de restauração florestal também podem utilizar o potencial da regeneração natural para o restabelecimento da floresta. No entanto, a integração dessas atividades com as práticas agrícolas em paisagens modificadas pelo homem é limitada, porque a restauração florestal restringe-se ao restabelecimento do ecossistema florestal nativo em termos de composição, estrutura e funcionamento, tendo-se como base ecossistemas de referência (*Sensu* SER, 2004).

Diversos estudos apresentam casos de florestas restauradas em larga escala através da regeneração natural (De Rezende et al., 2015; Brancalion et al., 2016; Chazdon e Guariguata, 2016; Molin et al., 2017). Outros destacam a regeneração natural como a ferramenta com a menor relação custo-efetividade para a restauração de paisagens florestais, especificamente a recuperação da biodiversidade e a geração de serviços ecossistêmicos, quando comparada com os plantios de mudas (Crouzeilles et al., 2017; Meli et al., 2017b; McClellan et al., 2018; Molin et al., 2018). Apesar dos benefícios econômicos e ambientais, a regeneração natural muitas vezes é esquecida quando é realizado o planejamento das atividades de restauração de florestas e paisagens florestais (Brancalion et al., 2016). Uma explicação possível para isto é o desconhecimento dos principais fatores que influenciam na regeneração e que atuam em diferentes escalas espaciais (local, paisagem, regional, nacional e continental; *sensu* Etter et al., 2006), bem como a compreensão dos benefícios sociais e ecológicos da implementação de atividades de restauração baseadas na regeneração natural (Chazdon e Uriarte, 2016). Uma vez identificados, esses fatores poderiam ser considerados em modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração (e.g. Birch et al., 2010; Molin et al., 2018) que auxiliem a tomada de decisão em quanto à adoção da condução da regeneração em programas de restauração de florestas e paisagens florestais.

Em algumas paisagens tropicais, o processo de regeneração natural em áreas desmatadas possibilitou a recuperação do solo e, com ele, o estabelecimento de uma nova floresta, frequentemente referida como floresta secundária. Compreender os processos que atuaram como forças motrizes desse aumento na cobertura florestal poderia gerar informação sobre os principais fatores que influenciam na regeneração natural. A detecção da regeneração natural e sua relação com os principais fatores influentes, na maioria dos casos, tem sido possível graças à análise de insumos de sensoriamento remoto, através de imagens obtidas de satélites que continuamente monitoram a superfície terrestre, e da análise de aspectos da população no nível de município obtidos através de censos demográficos e econômicos (Aide et al., 2013; Kolb et al., 2013; Sánchez-Cuervo e Aide, 2013; Zhai et al., 2014; Sloan, 2015; Abbas et al., 2016; Rudel et al., 2016; Müller et al., 2017).

Em geral, os fatores responsáveis pelas mudanças na cobertura florestal, incluindo aqueles derivados da regeneração natural, são geralmente referidos como causas imediatas (i.e. ações humanas que afetam a cobertura do solo diretamente) ou causas subjacentes de origem biofísica (i.e. determinam onde as mudanças na cobertura florestal têm mais chance de acontecer) ou socioeconômica (i.e. motivam as ações humanas responsáveis dessas mudanças; Geist e Lambin, 2001; Mitsuda e Ito, 2011). Esses fatores podem se inter-relacionar de formas muito complexas e

operar em várias escalas espaciais e serem medidas por múltiplas metodologias (e.g. Kolb et al., 2013; Zhai et al., 2014), o que impediria o desenvolvimento de modelos gerais de priorização para o uso da condução da regeneração natural na restauração de florestas e paisagens florestais a partir do estudo da influência desses fatores na regeneração natural em um só lugar.

Por outra parte, a maioria do que sabemos sobre o aumento da cobertura florestal e que poderia ajudar na nossa compreensão sobre os fatores que influenciam na regeneração natural provêm de estudos feitos em escala nacional, regional ou da paisagem, levando a conclusões gerais sobre os fatores envolvidos nesse processo. A informação gerada nestas escalas é muito importante para desenvolver teorias, parametrizar modelos, apoiar o desenho de políticas públicas (Etter et al., 2006; Van et al., 2015) e para auxiliar a escolha das áreas mais propensas ao aumento da cobertura florestal em larga escala. No entanto, o elemento humano também desempenha um papel fundamental na criação e transformação da paisagem, principalmente por meio das mudanças no uso do solo que afetam a cobertura florestal (Geist e Lambin, 2001; Schulz et al., 2011), sendo importante complementar as conclusões derivadas desses estudos com dados mais detalhados obtidos no nível local, que forneçam informação mais precisa sobre efeito desses fatores nas escolhas realizadas pelos proprietários de terra (Holl, 2017). Sendo assim, os modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração podem ser associados adequadamente ao contexto biofísico e socioeconômico onde potencialmente poderiam ser utilizados.

1.2. Objetivo

O objetivo geral do presente projeto de doutorado é analisar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas tropicais, visando oferecer elementos para o planejamento da restauração de florestas e paisagens florestais.

1.3. Estrutura da tese

No primeiro capítulo, intitulado *Determinantes biofísicos e socioeconômicos da regeneração de florestas tropicais: uma revisão desde 1990*, foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica publicada entre 1990 e 2017, a fim de (1) descrever as metodologias mais utilizadas para identificar nos trópicos e em larga escala (paisagem, regional, nacional e continental) as áreas de regeneração florestal, e de (2) realizar uma síntese sobre o efeito dos fatores biofísicos e socioeconômicos reportados na literatura como os mais influentes nesse processo. No segundo capítulo, intitulado *Determinantes biofísicos e socioeconômicos da regeneração natural de florestas tropicais em paisagens agrícolas: estudo de caso da bacia do rio corumbatai no estado de são paulo*, foi adotado um Modelo Linear Generalizado Misto (MLGM) com o objetivo de compreender e descrever no nível local a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos, esses últimos associados ao proprietário e à propriedade rural, nas mudanças do uso do solo que levaram entre os anos 1995 e 2018 à regeneração florestal numa paisagem rural no sudeste do Brasil. Neste capítulo, a maioria da informação socioeconômica associada ao proprietário e à propriedade rural foi obtida através de um *Survey* social, no qual a propriedade rural foi escolhida como unidade de estudo. A tese finaliza com uma seção de *Considerações finais*, onde são descritas as principais conclusões de

cada capítulo e as implicações dos resultados obtidos para a definição de áreas prioritárias para restauração de florestas e paisagens florestais no tropico.

Referências

- Abbas, S., Nichol, J. E., & Fischer, G. A. (2016). A 70-year perspective on tropical forest regeneration. *Science of the total environment*, 544, 544-552.
- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., ... & Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271.
- Assembleia Geral das Nações Unidas (2019) ONU declara Década sobre Restauração de Ecossistemas. Disponível em <http://nacoesunidas.org/onu-declara-decada-sobre-restauracao-de-ecossistemas/>. Acessado em abril de 2019.
- Birch, J. C., Newton, A. C., Aquino, C. A., Cantarello, E., Echeverría, C., Kitzberger, T., ... & Garavito, N. T. (2010). Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201003369.
- Brancalion, P. H., Schweizer, D., Gaudare, U., Manguiera, J. R., Lamonato, F., Farah, F. T., ... & Rodrigues, R. R. (2016). Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. *Biotropica*, 48(6), 856-867.
- Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B., Monteiro, L., ... & Strassburg, B. B. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science advances*, 3(11), e1701345.
- Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2016). Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica*, 48(6), 716-730.
- Chazdon, R. L., & Uriarte, M. (2016). Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica*, 48(6), 709-715.
- De Rezende, C. L., Uezu, A., Scarano, F. R., & Araujo, D. S. D. (2015). Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodiversity and conservation*, 24(9), 2255-2272.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... & Polasky, S. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272.
- Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G. S., Keymer, J., McGlade, J., ... & Wall, D. (2006). Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology*, 87(8), 1915-1924.
- Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management*, 79(1), 74-87.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What Drives Tropical Deforestation. A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*, (4), 136.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Kommareddy, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science*, 342(6160), 850-853.
- Holl, K. D. (2017). Restoring tropical forests from the bottom up. *Science*, 355(6324), 455-456.
- Kolb, M., Mas, J. F., & Galicia, L. (2013). Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1804-1827.
- Laestadius, L., Buckingham, K., Maginnis, S., & Saint-Laurent, C. (2015). Before Bonn and beyond: the history and future of forest landscape restoration. *Unasylva*, 66(245), 11.
- Latawiec, A. E., Strassburg, B. B., Brancalion, P. H., Rodrigues, R. R., & Gardner, T. (2015). Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(4), 211-218.
- Lawrence, D., & Vandecar, K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5(1), 27.

- McClellan, M., Montgomery, R., Nelson, K., & Becknell, J. (2018). Comparing forest structure and biodiversity on private and public land: secondary tropical dry forests in Costa Rica. *Biotropica*, 50(3), 510-519.
- MacDicken, K. G. (2015). Global forest resources assessment 2015: What, why and how?. *Forest Ecology and Management*, 352, 3-8.
- Meli, P., Herrera, F. F., Melo, F., Pinto, S., Aguirre, N., Musálem, K., ... & Brancalion, P. H. (2017a). Four approaches to guide ecological restoration in Latin America. *Restoration Ecology*, 25(2), 156-163.
- Meli, P., Holl, K. D., Benayas, J. M. R., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., & Mateos, D. M. (2017b). A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PloS one*, 12(2), e0171368.
- Mitsuda, Y., & Ito, S. (2011). A review of spatial-explicit factors determining spatial distribution of land use/land-use change. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 117-125.
- Molin, P. G., Gergel, S. E., Soares-Filho, B. S., & Ferraz, S. F. (2017). Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. *Landscape ecology*, 32(4), 857-870.
- Molin, P. G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., & Brancalion, P. H. (2018). A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2767-2778.
- Müller, H., Rufin, P., Griffiths, P., Hissa, L. D. B. V., & Hostert, P. (2016). Beyond deforestation: Differences in long-term regrowth dynamics across land use regimes in southern Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 186, 652-662.
- Rudel, T. K., Sloan, S., Chazdon, R., & Grau, R. (2016). The drivers of tree cover expansion: Global, temperate, and tropical zone analyses. *Land Use Policy*, 58, 502-513.
- Sabogal, C., Besacier, C., & McGuire, D. (2015). Forest and landscape restoration: concepts, approaches and challenges for implementation. *Unasylva*, 66(245), 3.
- Sánchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013). Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: a multi-scaled analysis. *Ecosystems*, 16(6), 1052-1070.
- SER Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration. Disponível em <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration>. Acessado em 20 de outubro de 2018.
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Rey-Benayas, J. M., & Schröder, B. (2011). Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). *Applied vegetation science*, 14(4), 571-582.
- Sloan, S. (2015). The development-driven forest transition and its utility for REDD+. *Ecological Economics*, 116, 1-11.
- Sloan, S., & Sayer, J. A. (2015). Forest Resources Assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 134-145.
- Stanturf, J. A., Palik, B. J., & Dumroese, R. K. (2014). Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*, 331, 292-323.
- Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, C. B., Baker, M., ... & Randall, A. (2015). Committing to ecological restoration. *Science*, 348(6235), 638-640.
- Van Vliet, J., Magliocca, N. R., Büchner, B., Cook, E., Benayas, J. M. R., Ellis, E. C., ... & Mertz, O. (2015). Meta-studies in land use science: Current coverage and prospects. *Ambio*, 45(1), 15-28.
- World Resources Institute (2018) Initiative 20x20: Bringing 20 million hectares of degraded land in Latin America and the Caribbean into restoration by 2020. Internet WWW page, at URL: <<http://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20/about-initiative-20x20#project-tabs>>
- Zhai, D. L., Xu, J. C., Dai, Z. C., Cannon, C. H., & Grumbine, R. E. (2014). Increasing tree cover while losing diverse natural forests in tropical Hainan, China. *Regional Environmental Change*, 14(2), 611-621.

2. DETERMINANTES BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS DA REGENERAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS: UMA REVISÃO DESDE 1990

Resumo

O manejo da regeneração natural pode ser uma estratégia viável tanto em termos ecológicos como socioeconômicos para atingir as metas de restauração de florestas e paisagens florestais estabelecidas em nível global, regional e nacional. A partir de uma revisão sistemática da literatura científica desde 1990 até 2017, este trabalho descreve as metodologias mais utilizadas para identificar as áreas de florestas tropicais em regeneração e os determinantes biofísicos e socioeconômicos deste processo. Os algoritmos de classificação automática e a matriz de transição foram as metodologias mais utilizadas para a detecção de áreas em regeneração florestal. A variação da cobertura florestal e as análises de regressão foram os mais comuns para os determinantes da regeneração. A declividade e a proximidade aos fragmentos de floresta, foram as principais variáveis biofísicas que influenciaram positivamente a regeneração. Entre os fatores socioeconômicos, a inserção em áreas de proteção ambiental e a menor proximidade a centros populacionais também favoreceram este processo. Este estudo gerou informação relevante que pode ser usada no desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal em larga escala. Esses modelos poderiam auxiliar a implementação de atividades de restauração de boa relação custo/benefício, contribuindo assim para o cumprimento das metas ambiciosas de restauração de paisagens florestais tropicais nos ecossistemas de maior biodiversidade e estoques de biomassa do planeta. No entanto, são necessários mais estudos para compreender o efeito da escala espacial na dinâmica da regeneração florestal.

Palavras-chave: Florestas secundárias; Restauração ecológica; Restauração florestal; Restauração de paisagens florestais; Restauração passiva; Dinâmica da paisagem; Regeneração florestal.

Abstract

Natural regeneration can be a suitable strategy both ecologically and socioeconomically to achieve ambitious goals of forest and landscape restoration that have been established at regional, national and global levels. Based on a systematic literature review from 1990 to 2017, this work describes the methodologies employed to detect regenerating tropical forests and to identify the biophysical and socioeconomic drivers of this process. Automatic classification of satellite images and the transitions matrix were the most common procedures used to detect regenerating tropical forest. The forest cover change and regression analysis were the most common methods to evaluate the effects of drivers on natural regeneration. Slope and proximity to forest remnants were the main biophysical drivers positively influencing natural regeneration. Among the socioeconomic drivers, Protected Areas and longer distance to population centers also favored this process. This study generated relevant information that can be used to develop predictive models of regeneration likelihood at large scale. These models would guide the implementation of cost-effective restoration practices in tropical forest, thus contributing to achieve ambitious restoration commitments of the ecosystems of greater biodiversity and biomass stocks of the planet. However, we highlight the need for further studies to better assess the scale effect in natural regeneration dynamics.

Keywords: Secondary forests; Ecological restoration; Forest restoration; Forest landscape restoration; Passive restoration; Landscape dynamic; Forest regeneration.

2.1. Introdução

As florestas tropicais são os ecossistemas com os maiores estoques de biomassa e níveis de biodiversidade (Malhi et al., 2014; Lewis et al., 2015), mas também com as taxas mais elevadas de conversão para terras agrícolas (Hansen et al., 2013; Sloan e Sayer, 2015). A redução do desmatamento e da degradação florestal continua sendo essencial para mitigar as perdas de biodiversidade e mudanças do clima (Barlow et al., 2016; Watson et al., 2018), mas já não é

suficiente para deter o declínio das espécies (Geldmann et al., 2013; Chauvenet e Barnes, 2016) e reverter o comprometimento da provisão de serviços ecossistêmicos (Dobson et al., 2006; Díaz et al., 2018). Nesse contexto, a restauração de florestas em larga escala constitui uma estratégia complementar à proteção florestal, necessária para mitigar os efeitos negativos de décadas de desmatamento e promover a sustentabilidade (Possingham et al., 2015; Holl, 2017). A implementação dessa estratégia requer, no entanto, uma compreensão mais ampla dos determinantes biofísicos e socioeconômicos da regeneração de florestas, uma vez que as informações disponíveis acerca destes determinantes resultam em sua maioria de estudos locais e de difícil generalização.

Duas abordagens principais de restauração têm sido adotadas para promover a conservação da biodiversidade, a mitigação das mudanças do clima e o bem-estar das pessoas. A primeira consiste na restauração florestal, que visa restabelecer o ecossistema florestal nativo em termos de composição, estrutura e funcionamento, tendo-se como base ecossistemas de referência (SER, 2004). A segunda consiste na restauração de paisagens florestais, que tem como alvo o restabelecimento da funcionalidade ecológica de paisagens degradadas por meio do aumento da cobertura de árvores, criando paisagens heterogêneas que são manejadas com múltiplos objetivos (Laestadius et al., 2015). Para isso, a restauração de paisagens florestais pode se valer de diversas estratégias como a condução da regeneração natural, os plantios comerciais de espécies nativas e exóticas, e os plantios de restauração florestal e sistemas agroflorestais (Chazdon e Guariguata, 2016). Esta abordagem tem sido considerada a mais adequada para aumentar a cobertura florestal de forma integrada a atividades agrícolas, provendo renda a agricultores e permitindo o desenvolvimento social e econômico em paisagens tropicais e sub-tropicais modificadas pelo homem (Ceccon, 2013; Brancalion et al., 2017).

Iniciativas recentes em nível nacional, regional e global têm estabelecido metas ambiciosas de restauração de florestas e paisagens florestais que, juntas, têm promovido a restauração de mais de 350 milhões de hectares até 2030 (Suding et al., 2015; Chazdon et al., 2017). Atingir essas metas requer a superação de importantes obstáculos, como a competição pelo uso da terra (Latawiec et al., 2015) e limitação de recursos para implantação e monitoramento das atividades de restauração florestal (Holl, 2017). Em alguns países, como a China e a Coreia do Sul, aumentos expressivos da cobertura de árvores em paisagens desmatadas foram obtidos por meio de programas governamentais centralizados baseados em plantios extensivos de espécies exóticas (Temperton et al., 2014; Hua et al., 2016). Em outros países, a expansão da cobertura de árvores tem ocorrido essencialmente como parte de um processo de transição florestal, no qual extensas áreas agrícolas marginais são abandonadas em resposta a transformações socioeconômicas que promovem o êxodo rural e a consolidação da agricultura em terrenos mecanizáveis (Aide et al., 2013). Neste caso, é a regeneração espontânea de florestas nativas em áreas abandonadas, e não o plantio de árvores exóticas, o processo responsável pela expansão da cobertura de árvores.

Dadas as restrições ambientais e sociais dos monocultivos extensivos de espécies exóticas para a restauração de florestas e paisagens (Lindenmayer et al., 2011; Xu, 2011; Zhai et al., 2014), a regeneração natural tem sido apontada como a estratégia de restauração mais promissora (Chazdon e Guariguata, 2016). Embora florestas secundárias possam não recuperar o valor de conservação de

florestas maduras ou levem décadas para isso (Barlow et al., 2007; Gibson et al., 2011), sua importância para a conservação da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos tem sido cada vez mais reconhecida (Chazdon, 2014). As florestas em regeneração são importantes para a redução da erosão do solo em áreas de pastagem abandonada (Grau et al., 2008), aumentar a conectividade da paisagem e reduzir o débito de extinção de espécies (Tabarelli et al., 2010; Newmark et al., 2017), mitigar as mudanças do clima (Chazdon et al., 2016), e contribuir com os meios de vida de comunidades locais (Evans et al., 2015; Souza et al., 2016). No geral, a regeneração natural tem se mostrado também mais eficiente que os plantios de mudas para a recuperação da biodiversidade (Crouzeilles et al., 2017; Meli et al., 2017) e mais custo-eficiente para a geração de serviços ecossistêmicos (Birch et al., 2010; Molin et al., 2018).

Apesar destes benefícios ambientais, econômicos e práticos da regeneração natural, a escolha das situações mais propícias para a aplicação dessa abordagem é um desafio (Holl e Aide, 2011; Brancalion et al., 2015; Brancalion et al., 2016). Diversos estudos têm investigado quais são os principais determinantes da regeneração de florestas em diversas regiões tropicais (Grau et al., 2008; Yackulic et al., 2011; Gutiérrez et al., 2013; Jadin et al., 2016), mas falta uma síntese global que permita a seleção e utilização das principais variáveis que influenciam a regeneração em modelos preditivos e que indiquem as áreas de maior oportunidade para fomentar a regeneração florestal (e.g. Birch et al., 2010; Molin et al., 2018). Um desafio para esta síntese é a complexa inter-relação entre diversos fatores biofísicos e socioeconômicos que influenciam a regeneração de florestas, cujas relações podem ocorrer em várias escalas espaciais (Geist e Lambin, 2001; Etter et al., 2006a; Mitsuda e Ito, 2011) e serem medidas por múltiplas metodologias (e.g. Gutiérrez et al., 2013; Kolb et al., 2013; Zhai et al., 2014).

Nesse sentido, esta pesquisa teve por objetivo identificar os principais determinantes biofísicos e socioeconômicos da regeneração de florestas tropicais. Baseámo-nos em uma revisão sistemática da literatura científica para: (1) descrever as metodologias mais utilizadas para identificar as áreas em regeneração florestal e, (2) estudar o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos nesse processo. Uma das principais motivações desta pesquisa foi gerar informação de qualidade para uso em modelos preditivos de regeneração de florestas tropicais. Esses modelos podem por sua vez, serem usados na priorização espacial da restauração, visando a escolha das áreas mais propensas ao aumento da cobertura florestal com menores custos, dando assim suporte à implantação das metas globais de restauração de florestas e paisagens florestais nos ecossistemas de maior biodiversidade e estoques de biomassa do planeta.

2.2. Metodologia

2.2.1. Busca de literatura

Na base de dados Web of Science (Principal Coleção do Web of Science e SciELO Citation Index) foi incluído o seguinte conjunto de termos: *[tropic* and (forest or rainforest) and (recover* or regenerat* or regrow* or secondary or transition* or abandonment or "land cover" or "land use") and (influence or cause* or driver* or factor* or effect* or dynamic*) and (spatial or biophysic* or anthropic**

or *landscape*]. Esta busca incluiu todas as referências disponíveis de janeiro de 1990 até julho 2017 para Principal Coleção da Web of Science, e janeiro de 1997 até julho de 2017 para SciELO Citation Index. O resultado foi posteriormente limitado às seguintes áreas de pesquisa: *environmental sciences, ecology, forestry, geography, biodiversity conservation, plant sciences, agriculture, remote sensing, physical geography, imaging science photographic technology, geography* e *life sciences*.

Dos 2.209 artigos científicos obtidos, foram selecionados aqueles que corresponderam aos seguintes critérios: (1) a regeneração florestal foi definida como o processo que levou, em áreas anteriormente desmatadas, à dominância de florestas ou ao aumento da sua cobertura; (2) a regeneração florestal foi percebida remotamente (i.e. análise de imagens obtidas de satélites ou aviões) e georreferenciada espacialmente (i.e. mapeada); (3) foram realizados na região tropical-subtropical (i.e. entre os paralelos com latitude 33° N e S); (4) avaliaram a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal, de forma qualitativa ou quantitativa. Não foram considerados artigos que reportaram florestas em regeneração após a extração seletiva de madeira, ou que consideraram plantações florestais para o cálculo das mudanças na cobertura florestal. Em um mesmo artigo foram consideradas como observações independentes a regeneração florestal em mais de uma área de estudo, em diferentes tipos de uso do solo (e.g. pastagem e cultivos agrícolas), ou em diferentes escalas espaciais de análise. Adicionalmente, foram incluídos alguns estudos citados nos artigos já selecionados, que fossem aprovados nos quatro critérios acima apresentados. Foram, então, obtidos 64 artigos com 82 observações. Dado que em algumas observações foram avaliados mais de um fator, os fatores biofísicos e socioeconômicos foram analisados separadamente em 120 e 68 ocasiões, respectivamente (**Apêndice 1**).

2.2.2. Análises de dados

Para avaliar as aproximações metodológicas utilizadas para identificar as áreas em regeneração florestal, extraímos de cada artigo: (i) o período de tempo em que a regeneração florestal foi descrita (subtração entre a primeira e a última data dos insumos de sensoriamento remoto utilizados), (ii) o procedimento empregado para a classificação dos insumos de sensoriamento remoto e subsequente geração de categorias de cobertura do solo, (iii) a metodologia utilizada para garantir a confiabilidade da classificação, (iv) o procedimento empregado para detectar áreas em regeneração florestal, e (v) a metodologia empregada para definir o efeito dos fatores biofísicos e socioeconômicos reportados na regeneração florestal.

Para avaliar o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal, de cada observação foi extraído: (i) o país no qual o estudo foi desenvolvido, (ii) o ano de publicação, (iii) as coordenadas geográficas, (iv) a extensão da área de estudo, (v) e a ecoregião (de acordo com Olson et al., 2001). Cada observação foi atribuída a uma escala espacial de análise, adaptando os critérios estabelecidos no modelo conceitual de Etter et al. (2006a): paisagem (de 1 a 9.990 km²), regional (de 10.000 a 1.000.000 km²), nacional (>1.000.000 km²) e continental (observações que abrangeram mais de um país, e.g. Duveiller et al., 2008; Aide et al., 2013; Ernst et al., 2013). As observações realizadas no nível nacional, em países com uma extensão enquadrada dentro da

escala regional, foram consideradas como tendo escala nacional (e.g. Meyfroidt e Lambin, 2008; Sloan, 2015; Reddy et al., 2016).

Uma vez organizadas todas as informações das observações na base de dados, foram identificados e listados os fatores reportados como influentes da regeneração florestal. Os fatores foram agrupados em “biofísicos” (i.e. determinam onde as mudanças na cobertura florestal têm mais chance de acontecer) e “socioeconômicos” (i.e. motivam as ações humanas responsáveis por essas mudanças) (*sensu* Geist e Lambin, 2001; Mitsuda e Ito, 2011). Os fatores biofísicos foram atribuídos às seguintes subcategorias: (i) configuração espacial (e.g. fatores que influenciam segundo sua proximidade, como a proximidade a fragmentos de floresta ou cursos d’água), (ii) aptidão agrícola (e.g. qualidade do solo, precipitação e temperatura) e, (iii) topografia (e.g. características do ambiente físico como altitude e declividade). Os fatores socioeconômicos foram atribuídos às seguintes subcategorias: (i) acessibilidade (e.g. fatores relacionados com a proximidade a centros populacionais ou vias de comunicação), (ii) sociopolíticos (e.g. regime da posse da terra, conflitos sociais, normatividade ambiental), (iii) demográficos (e.g. densidade populacional e migração) e (iv) econômicos (e.g. renda, agricultura corporativa e diversificação de fontes de renda). Para cada um dos fatores avaliados em pelo menos cinco ocasiões, foi registrado o sentido (direção da influência, i.e. influência positiva ou negativa na regeneração, ou se variável no tempo) e significância estatística (se reportada) do efeito do fator na regeneração florestal (Tabela 1). Em situações onde foi avaliado de forma separada mais de um período de tempo, foi considerado o efeito mais frequente do fator (e.g. Etter et al., 2006b) ou, se reportado, a tendência geral do efeito do fator entre a primeira e a última data avaliada (e.g. Newman et al., 2014). Com esta informação foi determinado o nível de consistência do efeito do fator na regeneração florestal, utilizando uma equação adaptada a partir de Busch e Ferretti-Gallon (2017): $\text{Consistência} = \text{valor positivo} / (\text{valor positivo} + \text{valor negativo})$, em que valor positivo representa o número de ocasiões em que o efeito do fator foi positivo e valor negativo o número de ocasiões em que o efeito do fator foi negativo.

Esta equação gera valores entre zero e um. Fatores com valores superiores a 0,5 foram considerados como favoráveis da regeneração, e a consistência do efeito positivo aumenta conforme o valor se aproxima de um. Fatores com valores inferiores a 0,5 foram considerados como desfavoráveis da regeneração, e a consistência do efeito negativo aumenta conforme o valor se aproxima de zero. Fatores com valores iguais a 0,5 apresentam um efeito completamente inconsistente. Adicionalmente, a consistência foi calculada para cada escala espacial de análise (paisagem, regional, nacional e continental) considerando unicamente os fatores avaliados em pelo menos três ocasiões e em pelo menos duas escalas espaciais.

Tabela 1. Critérios estabelecidos para a descrição do efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas na região tropical.

Efeito	Descrição
<i>Positivo</i>	O fator exerceu um efeito (direto) positivo na regeneração. No caso de fatores representados como variáveis contínuas (e.g. proximidade a estradas), a regeneração é maior onde o fator apresenta valores maiores (e.g. perto das estradas), ou aumenta com o incremento do valor da variável. No caso de fatores representados como variáveis discretas (e.g. solo de baixa fertilidade), a presença do fator favorece a regeneração.
<i>Negativo</i>	O fator exerce um efeito (inverso) negativo na regeneração. No caso de fatores representados como variáveis contínuas, a regeneração é maior onde o fator apresenta valores menores, ou aumenta com a diminuição do valor da variável. No caso de fatores representados como variáveis discretas, a presença do fator desfavorece a regeneração.
<i>Variável no tempo</i>	Quando avaliados dois períodos de tempo, o efeito do fator na regeneração florestal é percebido apenas em um período (e.g. Freitas et al., 2010; Lira et al., 2012).

2.3. Resultados

Os artigos representaram 26 países da região tropical-subtropical (Figura 1), com maior número de ocorrências para Brasil (22%), México (14%) e Colômbia (9,4%). Os artigos selecionados foram publicados entre os anos 1996 e 2017, sendo que a maioria (83%) foi publicados entre 2005 e 2017, atingindo um pico de publicações em 2013 (13%). Das 82 observações contidas nos 64 artigos, pouco mais da metade (51%) detectaram áreas em regeneração florestal na escala da paisagem (de 1 a 9.990 km²), seguido por observações em escala regional (37%), nacional (9%) e continental (4%). Quarenta e nove observações (66,2%) foram realizadas em florestas úmidas tropicais e subtropicais latifoliadas e 11 (14,9%) em florestas secas tropicais e subtropicais latifoliadas. Os demais biomas florestais estiveram representados por menos de cinco observações (<6%).

Figura 1. Distribuição dos 64 artigos que descreveram o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas na região tropical-subtropical do globo. No canto inferior direito, se observa a distribuição do número de artigos em relação ao ano de publicação.

Aproximações metodológicas utilizadas para identificar as áreas em regeneração florestal: de acordo com a data dos insumos de sensoriamento remoto utilizados nos artigos, o período de tempo em que a regeneração florestal foi avaliada variou entre cinco e 92 anos, embora em um pouco mais da metade (55%) dos artigos, a regeneração florestal foi avaliada entre nove e 24 anos. Os procedimentos mais comuns utilizados para a classificação dos insumos de sensoriamento remoto multitemporais e a geração de categorias de cobertura do solo foram a classificação automática supervisionada (48%) e a interpretação visual (31%; Tabela 2). A confiabilidade da classificação foi avaliada em 73% dos estudos. O procedimento analítico mais amplamente utilizado para a detecção de áreas em regeneração foi a matriz de transição (73%), seguido pela análise da mudança da cobertura florestal no tempo (17%). O efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal foi estabelecido a partir da variação da cobertura florestal em função das variações dos fatores (33%) e a partir de procedimentos analíticos que incluíram algum tipo de análise de regressão (22%).

Tabela 2. Metodologias mais utilizadas para identificar as áreas em regeneração florestal na região tropical, e sua relação com fatores biofísicos e socioeconômicos em 64 artigos incluídos nesta revisão.

Enfoque metodológico	Num. artigos
<i>Geração de categorias a partir de</i>	
Classificação automática supervisionada	31
Classificação por interpretação visual	20
Classificação automática não supervisionada	6
Não reportada	7
<i>Confiabilidade da categorização</i>	
Avaliada, com verificação em campo	30
Avaliada, sem verificação em campo	17
Não reportada	17
<i>Como se identifica a regeneração?</i>	
Matriz de transição	47
Mudança da cobertura florestal no tempo	11
Outras metodologias	5
Informação secundária	1
<i>Efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos</i>	
Variações na cobertura florestal	21
Análise de regressão	14
Análise qualitativa	11
Pesos de evidência e valores de contraste	10
Taxa de mudança	4
Análise de correlação	4

Efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal: os artigos apresentaram 42 fatores biofísicos e socioeconômicos que influenciam a regeneração florestal, pertencentes a sete subcategorias (Tabela 3). Os fatores biofísicos analisados em pelo menos cinco ocasiões incluíram a proximidade aos fragmentos de floresta, a porcentagem de cobertura florestal na paisagem, a declividade, a proximidade aos cursos d'água, a altitude, a aptidão agrícola do solo e a precipitação (Figura 2). Sem considerar a escala espacial de análise, a proximidade aos fragmentos de floresta e a declividade foram os principais fatores que tiveram um efeito positivo na regeneração florestal (consistência = 0,94 e 0,86, respectivamente). Em seguida esteve a porcentagem de cobertura florestal (0,83), a proximidade aos cursos d'água (0,78), a altitude (0,64) e os solos de baixa aptidão agrícola (0,60). A precipitação foi o único fator biofísico que teve um efeito negativo (0,17). A significância estatística foi reportada apenas em 20 das 100 análises sobre o efeito desses fatores na regeneração florestal.

Por sua vez, os fatores socioeconômicos incluíram a inserção em áreas de proteção ambiental, a proximidade a estradas e a proximidade aos centros populacionais (Figura 2). Sem considerar a escala espacial de análise, a inserção em áreas de proteção ambiental e a proximidade a estradas foram os principais fatores socioeconômicos que tiveram um efeito positivo na regeneração florestal (consistência = 0,71 e 0,62, respectivamente), enquanto que a proximidade aos centros populacionais teve um efeito negativo (0,27). A significância estatística foi reportada somente em cinco das 34 análises sobre o efeito desses fatores na regeneração florestal.

Tabela 3. Fatores biofísicos e socioeconômicos identificados em 64 artigos que influenciam a regeneração de florestas na região tropical. São apresentados o número de ocasiões em que cada fator foi analisado e o sentido da influência do fator na regeneração florestal. Os fatores analisados em pelo menos cinco ocasiões são destacados em cinza. Em caso de não ter sido reportada a significância estatística da influência do fator, se indica com a sigla *na* (não se aplica).

	Subcategoria	Variável	Sentido da influência				Variável no tempo
			Positivo	Num. de análises com significância estatística	Negativo	Num. de análises com significância estatística	
Fatores biofísicos	Configuração espacial	Densidade de cursos d'água	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Porcentagem de cobertura florestal na paisagem	5	3	1	<i>na</i>	1
		Proximidade aos cursos d'água	7	<i>na</i>	2	<i>na</i>	1
		Proximidade a áreas previamente desmatadas	1	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Predominância de uso para pastagem	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Proximidade aos fragmentos de floresta	15	4	1	1	0
	Aptidão agrícola	Precipitação (desvio padrão da precipitação anual)	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Radiação solar	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Temperatura (média anual)	2	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Temperatura (desvio padrão da temperatura média mensal)	1	<i>na</i>	3	<i>na</i>	0
		Precipitação (média anual)	1	<i>na</i>	5	2	0
		Solos de baixa aptidão agrícola	6	1	4	<i>na</i>	0
	Topografia	Área do relevo com maior precipitação e umidade (aspecto)	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	1
		Área do relevo com depressões e vales (índice topográfico)	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Declividade	18	2	3	<i>na</i>	1
		Altitude	18	5	10	2	1
Fatores socioeconômicos	Acessibilidade	Densidade de estradas	1	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Acessibilidade considerando topografia, estradas e rios.	1	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Proximidade aos centros populacionais	3	1	8	1	2
		Proximidade a estradas	8	2	5	1	1
	Demográficos	Emigração (mudança populacional)	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Incremento populacional no nível de Município	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Número de pessoas registradas na zona rural no nível de Município	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Emigração rural no nível municipal	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Densidade populacional no nível municipal (num. pessoas/km ²)	3	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
	Econômicos	Porcentagem de pessoas dependentes de fossa séptica	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Porcentagem de necessidades básicas insatisfeitas no nível municipal	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Diminuição do emprego agrícola no nível municipal	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Incremento no número de mulheres que trabalham como empregadas no nível municipal	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Melhorias no bem-estar econômico da zona rural no nível municipal	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Número de mulheres adultas por família rural	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Número de homens adultos por família rural	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Incremento na agricultura corporativa	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Número de cabeças de gado no nível municipal	0	<i>na</i>	2	<i>na</i>	0
	Sociopolíticos	Regime da posse da terra privada	1	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Número de pessoas deslocadas em razão da violência	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Número de divisões da propriedade original	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Idade da propriedade	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Densidade de grupos paramilitares	2	<i>na</i>	0	<i>na</i>	0
		Densidade de pessoas falantes de línguas indígenas	0	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Proximidade a áreas protegidas	3	<i>na</i>	1	<i>na</i>	0
		Dentro de área protegida	5	<i>na</i>	2	<i>na</i>	0

Figura 2. Influência dos principais (i.e. observados em pelo menos cinco ocasiões) fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas na região tropical. Ver na Tabela 1 os detalhes sobre os critérios adotados para definir o sentido do efeito.

Os fatores analisados mantiveram o mesmo efeito na regeneração florestal e valores de consistência quando foi considerada a escala espacial de análise, com exceção da aptidão agrícola do solo e proximidade a estradas (Tabela 4). Os solos de baixa aptidão agrícola não tiveram um efeito definido na regeneração florestal na escala da paisagem (consistência = 0,5), mas tiveram um efeito positivo e consistente na escala regional (1,0). Já a proximidade a estradas teve um efeito negativo na regeneração florestal na escala da paisagem (0,2), mas teve um efeito positivo e consistente na escala regional (1,0).

Tabela 4. Consistência do efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal na região tropical. Fatores com valores de consistência superiores a 0,5 favorecem a regeneração. A consistência do efeito positivo do fator aumenta conforme o valor se aproxima de um. Fatores com valores inferiores a 0,5 desfavorecem a regeneração. A consistência do efeito negativo aumenta conforme o valor se aproxima de zero. Fatores com valores iguais a 0,5 apresentam um efeito completamente inconsistente. A sigla *na* (não se aplica) indica fatores que não foram avaliados em pelo menos três ocasiões e em pelo menos duas escalas espaciais. Na escala continental nenhum fator foi avaliado em pelo menos três ocasiões.

		Consistência geral	Consistência por escala espacial		
			Nacional	Regional	Paisagem
Fatores biofísicos	Proximidade aos fragmentos de floresta	0,94	<i>na</i>	0,8	1,0
	% de cobertura florestal	0,83	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	Declividade	0,86	<i>na</i>	0,8	0,9
	Proximidade aos cursos d'água	0,78	<i>na</i>	0,7	0,8
	Altitude	0,64	1,0	0,6	0,6
	Solos de baixa aptidão agrícola	0,60	<i>na</i>	1,0	0,5
	Precipitação (média anual)	0,17	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Fatores socioeconômicos	Dentro de área protegida	0,71	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	Proximidade a estradas	0,62	<i>na</i>	1,0	0,2
	Proximidade aos centros populacionais	0,27	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>

2.4. Discussão

Mais da metade dos artigos utilizados nesta revisão para descrever o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração de florestas tropicais foram baseados em pesquisas realizadas em apenas a três países: Brasil, México e Colômbia. Essa concentração geográfica é provavelmente devida à disponibilidade de dados que reportam tendências não lineares na dinâmica do desmatamento (Rudel, 2012; Aide et al., 2013), ao envolvimento destes países em programas regionais e internacionais sobre restauração de ecossistemas e à existência de instrumentos legais que regulamentam esta atividade (Melo et al., 2013; Brancalion et al., 2016; Murcia et al., 2016; Meli et al., 2017). A falta de estudos nas demais regiões, principalmente para a África e Ásia, pode ser também resultado das baixas taxas de regeneração de florestas nesses países, uma vez que os aumentos da cobertura de árvores foram obtidos por meio de incentivos governamentais para a aplicação de técnicas de agrossilvicultura em regiões densamente povoadas (África) e para o estabelecimento de plantações florestais de espécies exóticas em regiões montanhosas (Ásia; Rudel, 2012).

O viés geográfico poderia limitar a utilidade dos resultados desta síntese de literatura para o desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal em escala global, principalmente ao se considerar que as regiões sub-representadas apresentam características socioeconômicas muito distintas, como a maior densidade populacional. Apesar deste viés, acreditamos que nossos resultados possam representar um ponto de partida rumo ao desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração e de priorização espacial da restauração que considerem os determinantes identificados nesta revisão (e.g. Birch et al., 2010; Molin et al., 2018), indo além dos estudos de caso locais presentes na literatura. Por sua vez, a preferência da escala da paisagem para a análise da regeneração florestal pode estar relacionada com a facilidade de acesso a insumos de sensoriamento remoto para esta escala, e com o embasamento teórico derivado da ecologia da paisagem sobre a dinâmica da cobertura e uso do solo nessa escala espacial de análise (Liu, 2001; Wu e Hobbs, 2002).

A regeneração florestal registrada nesta revisão aconteceu em grande parte em áreas do globo anteriormente ocupadas por florestas úmidas e secas tropicais e subtropicais latifoliadas. No caso das regiões ocupadas originalmente por florestas úmidas, possivelmente a recente transição de uma agricultura de corte e queima a uma forma de produção mais intensiva desencadeou a regeneração florestal em regiões marginais para a agricultura mecanizada (Southworth e Tucker, 2001; Newman et al., 2014; De Rezende et al., 2015; Rudel, 2015; Molin et al., 2017). No caso das regiões ocupadas originalmente por florestas secas, a concentração da produção agrícola em áreas mais produtivas, com condições ambientais menos adversas (i.e. baixa variabilidade na temperatura e altos níveis de precipitação) possivelmente levou ao abandono de áreas anteriormente cultivadas e à subsequente regeneração florestal (Bonilla-Moheno et al., 2012; Aide et al., 2013; Sánchez-Cuervo e Aide, 2013a). A anterior tendência pode ser reforçada pelas mudanças climáticas globais que tendem a acentuar e tornar mais frequentes os eventos extremos de seca nestas regiões, resultando em perdas recorrentes de produção agrícola (Thornton et al., 2014).

Aproximações metodológicas utilizadas para identificar as áreas em regeneração florestal: em pouco mais da metade dos artigos o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na

regeneração de florestas tropicais foi descrito no médio prazo (entre nove a 24 anos de regeneração florestal; Etter et al., 2006a). Isto destaca a necessidade de estudos no longo prazo se considerado que o acúmulo de espécies e biomassa são processos que se desenvolvem ao longo de décadas em florestas tropicais e subtropicais (Martin et al., 2013; Poorter et al., 2016) e que o efeito e a importância relativa dos fatores podem variar temporalmente à medida que o processo de regeneração florestal avança (Etter et al., 2006a, 2006b). Resultados de pesquisas baseados em florestas secundárias mais velhas podem expressar não apenas a influência dos determinantes da regeneração, mas também da persistência das florestas. Ao mesmo tempo, seria importante realizar estudos de curto prazo (<10 anos de regeneração), uma vez que parte relevante das florestas tropicais secundárias pode ter existência efêmera, sendo reconvertidas a usos alternativos do solo poucos anos após o início da regeneração (Reid et al., 2018).

A utilização de algoritmos computacionais de classificação automática de imagens multitemporais obtidas remotamente e a matriz de transição foram as metodologias mais amplamente utilizadas para a detecção de áreas em regeneração florestal, o que confirma o potencial já documentado dessas metodologias no monitoramento das mudanças na cobertura florestal em larga escala (Singh, 1989; Mas, 1999; Richards, 1999; Lee et al., 2002). Adicionalmente, o uso de índices de transformação espectral ou a análise de retrodispersão na detecção de áreas em regeneração florestal gerou informação complementar sobre a dinâmica da regeneração, como a identidade das espécies de árvores dominantes (Gavier-Pizarro et al., 2012), sobre o comportamento cíclico da regeneração em áreas de pousio (Müller et al., 2016) e sobre o ganho em biomassa de florestas em regeneração (Joshi et al., 2015).

O efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal foi estabelecido principalmente com base na variação da cobertura florestal em função das variações dos fatores (e.g. Zhai et al., 2014; Stickler e Shackleton, 2015; Jacob et al., 2016). Esta metodologia empírico-descritiva não fornece informação sobre a magnitude do efeito dos fatores responsáveis pelas mudanças na cobertura florestal (Lambin et al., 2000), ao passo que na maioria dos artigos que utilizou essa abordagem, não foi avaliada a significância estatística do efeito. Possivelmente a análise estatística foi limitada por uma série de incertezas, incluindo a baixa precisão dos mapas utilizados na detecção de áreas em regeneração florestal, a falta parcial de dados de fatores que mudam progressivamente no espaço (e.g. distância a estradas), e alta correlação espacial entre os fatores desencadeadores da regeneração florestal (Mitsuda e Ito, 2011; Schulz et al., 2011). Trata-se, assim, de uma limitação quanto aos estudos disponíveis na literatura para o desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração em larga escala (ver Molin et al., 2018), constituindo-se numa importante lacuna a ser suprida por novos estudos.

A utilização de análises empírico-estatísticas para avaliar a magnitude e significância estatística do efeito dos fatores na regeneração florestal (Lambin et al., 2000) é necessária para que os estudos possam ir além de uma abordagem empírico-descritiva e servirem de base para o desenvolvimento de modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisão. Nesta revisão, os procedimentos que incluíram algum tipo de análise de regressão (e.g. regressão linear, regressão logística ou regressão dos mínimos quadrados), utilizados frequentemente em modelos empírico-

estatísticos, foram os segundos mais amplamente utilizados (e.g. Newman et al., 2014; Wang et al., 2015; Sloan et al., 2016). Entre os outros procedimentos reportados foi especialmente interessante o cálculo de pesos de evidência em modelos espacialmente explícitos (e.g. Cemin e Ducati, 2015; De Rezende et al., 2015; Molin et al., 2017). Estes modelos permitem quantificar e mapear a probabilidade de regeneração florestal em função de fatores biofísicos e socioeconômicos avaliados e que se comportam de forma dinâmica no tempo (Lambin et al., 2000; Soares-Filho et al., 2007), sendo assim de grande utilidade para o desenvolvimento de modelos preditivos.

As metodologias utilizadas para a detecção de áreas em regeneração florestal foram muito variadas, o que destaca a necessidade da criação de um marco conceitual e metodológico similar ao existente para o estudo do desmatamento (e.g. Geist e Lambin, 2001) que facilite a interpretação dos resultados gerados nos estudos sobre regeneração florestal. A criação de um marco metodológico contribuiria para o consenso sobre a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração através de procedimentos quantitativos de sínteses como a meta-análise (Koricheva et al., 2013). De igual importância é a avaliação da confiabilidade da classificação dos insumos de sensoriamento remoto utilizados na detecção de áreas em regeneração florestal. Nesta revisão, quase 30% dos artigos não reportaram nenhum procedimento de avaliação. Os processos de verificação são indispensáveis para minimizar os erros de omissão e inclusão derivados de qualquer metodologia de classificação (Richards, 1999). Esses erros podem levar a dados contraditórios no cálculo da extensão das áreas em regeneração florestal e consequentemente do cálculo do efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos nesse processo.

Novas tecnologias utilizadas para quantificar e mapear as mudanças no uso do solo irão revolucionar a avaliação da influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal em larga escala. Um exemplo interessante é o Projeto MapBiomas (v.3.0) no Brasil. O MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional criada para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo (para mais de 30 anos) a partir da classificação automática de imagens Landsat com resolução de 30 metros, disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine. O MapBiomas utiliza, de forma similar à maioria dos artigos nesta revisão, algoritmos computacionais de classificação automática e matrizes de transição na detecção de áreas em regeneração florestal. No entanto, se destaca pela escala de trabalho, se considerado que abrange todo o território brasileiro, e pela avaliação tanto do produto da classificação das imagens como das transições de uso do solo possíveis entre pares de anos.

Efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal: os fatores biofísicos associados à aptidão agrícola tiveram grande influência na regeneração florestal, uma vez que foi mais frequente em altitudes elevadas, em áreas íngremes, em solos de baixa aptidão agrícola e em regiões de baixa precipitação (Walsh et al., 2008; Zomer et al., 2001; Kolb et al., 2013; Pérez-Vega et al., 2012; De Rezende et al., 2015; Cemin e Ducati, 2015). Áreas com essas características são consideradas marginais para a agricultura mecanizada, o que sugere que são pouco produtivas ou pouco atraentes para a agricultura moderna em comparação às demais áreas agrícolas (Sloan et al., 2016). Os poucos casos onde a regeneração florestal foi detectada em áreas de boa aptidão agrícola estiveram relacionados com mudanças drásticas nas políticas de governo (Endress e Chinea, 2001)

ou com programas ambientais de reflorestamento de encostas íngremes com plantações florestais de espécies exóticas, que limitaram a regeneração florestal às áreas planas (Zhai et al., 2014). É importante destacar que, quando foi considerada a escala espacial de análise, os solos de baixa aptidão agrícola não tiveram um efeito definido na regeneração florestal na escala da paisagem. Na prática, os solos com baixa aptidão agrícola não são agroecologicamente limitados *per se*, exceto em relação às áreas cultivadas no entorno (Sloan et al., 2016). Esse efeito contexto-dependente do tipo de solo na regeneração florestal impossibilitou identificar um consenso de conclusões entre os artigos que avaliaram seu efeito na escala da paisagem.

O efeito positivo da altitude foi frequentemente associado com o efeito de outros fatores biofísicos como a presença de áreas íngremes e florestas remanescentes em locais de elevada altitude (Sanchez-Cuervo e Aide, 2013b; Sloan et al., 2016), e fatores socioeconômicos como a emigração rural em terras altas ocupadas historicamente (Sánchez-Cuervo e Aide, 2013a). Uma alternativa para esclarecer em estudos futuros o efeito da altitude e a declividade na regeneração florestal é o cálculo do Índice de Posição Topográfica, mais do que o efeito da altitude *per se*. O índice representa a posição topográfica num *continuum* onde os valores positivos indicam locais que são mais elevados que seu entorno (como as cristas e os topos das montanhas), os valores negativos representam os locais mais rebaixados (como vales ou depressões) e valores próximos a zero representam as superfícies planas (Weiss, 2001). Por exemplo, o cálculo do Índice de Posição Topográfica mostrou que a regeneração florestal numa paisagem no sudeste do Brasil foi maior nas depressões e nas encostas das montanhas, e menor nas áreas planas e nos topos dos morros (De Rezende et al., 2015).

As chances de uma área ser abandonada e vir a ter a oportunidade de regenerar estão mais associadas às características biofísicas que definem a aptidão agrícola do local do que às condições favoráveis para que os processos de regeneração atuem, como a dispersão de sementes e o estabelecimento de plântulas (Arroyo-Rodríguez et al., 2017). Desta forma, os fatores relacionados à aptidão agrícola estão funcionalmente associados à tomada de decisão pelo homem no uso do solo. A influência das variáveis biofísicas deve ter se intensificado a partir da década de 1970, com a expansão da chamada Revolução Verde em países tropicais, por meio da qual técnicas intensivas de cultivo promoveram o aumento da ocupação agrícola de terrenos mecanizáveis (Pingali, 2007). Somado a este processo, a diminuição da demanda de mão de obra e o êxodo rural-urbano criou espaços adicionais para a regeneração de florestas em terrenos montanhosos (Aide e Grau, 2004). Hoje, áreas montanhosas têm concentrado o aumento de cobertura florestal em escala global (Song et al., 2018). Não se sabe até que ponto este processo de irá continuar no Neotrópico (Aide et al., 2013) ou se ele se iniciará em regiões da África e sudeste Asiático, haja vista a necessidade de aumentar a produção agrícola para suprir os estimados 9 bilhões de pessoas que habitarão a terra em 2050 (Godfray et al., 2010).

Por outro lado, identificamos fatores biofísicos chave da regeneração florestal que estão mais relacionados ao processo de regeneração em si, mais do que ao abandono da área para a regeneração (Arroyo-Rodríguez et al., 2017). De acordo com este grupo de fatores, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas próximas aos fragmentos de floresta, com alta porcentagem de

cobertura florestal e em áreas próximas aos cursos d'água (Endress e Chinea, 2001; Etter et al., 2006c; Crk et al., 2009; Teixeira et al., 2009; Maeda et al., 2011; Yackulic et al., 2011; De Rezende et al., 2015; Abbas et al., 2016; Müller et al., 2016; Molin et al., 2017). Tanto a proximidade de fragmentos como a maior porcentagem de cobertura florestal influenciam decisivamente as chances de chegada de propágulos de espécies nativas às áreas em regeneração por meio de fatores como a maior atividade de dispersores de sementes e maior oferta de propágulos para o início e desenvolvimento da regeneração (Chazdon, 2014). Estudos futuros poderiam avaliar com maior detalhe o efeito da proximidade a fragmentos de floresta de diferentes tamanhos (Sloan et al., 2016) e o padrão espacial da regeneração florestal para estabelecer se a regeneração acontece a partir da borda de fragmentos de floresta preexistentes ou como novos núcleos de regeneração, destacando a importância dos dispersores de sementes (Endress e Chinea, 2001).

O efeito positivo da proximidade aos cursos d'água talvez estivesse relacionado com a legislação ambiental, uma vez que vários países possuem instrumentos legais que proíbem o uso agrícola, ou até mesmo obrigam a recuperação de florestas nas margens de cursos d'água (Schweizer et al., in prep.). Adicionalmente, a maioria dos artigos que reportaram um efeito positivo desse fator foram realizados no Brasil (Teixeira et al., 2009; Maeda et al., 2011; De Rezende et al., 2015; Molin et al., 2017), onde existe a obrigatoriedade de recuperação florestal no entorno de cursos de água (Rodrigues et al., 2011; Brancalion et al., 2016). Outra explicação consiste na maior cobertura de vegetação nativa e presença de árvores remanescentes ao longo das margens de cursos d'água, uma vez que as variações abruptas de relevo, maiores chances de alagamento e consciência ambiental dos agricultores podem resultar na maior proteção à vegetação nativa nessas áreas, fazendo com que o efeito benéfico da proximidade de cursos d'água na regeneração seja apenas mais uma faceta da proximidade de fragmentos de floresta (e.g. Abbas et al., 2016). Recomenda-se a realização de estudos futuros que sejam delineados de forma a isolar o efeito independente dessas variáveis nos processos de regeneração. Fatores adicionais a serem considerados em pesquisas futuras são a movimentação da fauna dispersora de sementes e maior disponibilidade de água e nutrientes, que tendem a ser maiores nas faixas ripárias (Peterjohn e Correll, 1984; Howe e Miriti, 2004)

Os fatores socioeconômicos associados à acessibilidade das áreas em regeneração tiveram grande influência na regeneração florestal, uma vez que tendeu a ocorrer longe dos centros populacionais, em áreas próximas às estradas e dentro de áreas de proteção ambiental (Crk et al., 2009; Nagendra et al., 2009; Teixeira et al., 2009; Ouedraogo et al., 2011; Schulz et al., 2011; Ernst et al., 2013; Newman et al., 2014; De Rezende et al., 2015; Satish et al., 2014; Joshi et al., 2015; Sloan, 2015). A dificuldade de acesso aos centros de comercialização pode ter limitado a disponibilidade de mão de obra e aumentado os custos com o transporte da produção, inviabilizando o uso do solo para agricultura longe dos centros populacionais (Teixeira et al., 2009; Newman et al., 2014; De Rezende et al., 2015). O acesso a terras agrícolas mais lucrativas provavelmente favoreceu o abandono de áreas menos férteis em áreas próximas às estradas (Crk et al., 2009; Ernst et al., 2013; Sloan, 2015). O efeito positivo das áreas de proteção ambiental confirmou sua efetividade em promover a recuperação da vegetação uma vez que estas áreas são estabelecidas (Ouedraogo et al., 2011;

Satish et al., 2014), evidenciando que as unidades de conservação são importantes não apenas para a conservação dos ecossistemas nativos, mas também para a restauração deles.

Os casos onde a regeneração florestal foi detectada em áreas próximas aos centros populacionais, longe das estradas e fora das áreas de proteção ambiental estiveram relacionados com a valorização das florestas perto dos centros populacionais em termos de recreação e estética (Schulz et al., 2011), com o abandono de áreas longe das estradas pelo menor acesso ao mercado (Teixeira et al., 2009; Newman et al., 2014), ou com mudanças nas práticas de cultivo na zona de amortecimento das áreas de proteção ambiental (Stickler e Shackleton, 2015). É importante destacar que o efeito positivo da proximidade a estradas teve o menor nível de consistência entre os fatores socioeconômicos registrados. Mesmo considerando a importância já documentada da proximidade a estradas nas mudanças de cobertura florestal, é possível que o seu efeito seja suprimido ou influenciado pelo efeito de outros fatores em regiões com uma rede de estradas bem estabelecida (Maeda et al., 2011).

A partir desta revisão não é possível se chegar a um consenso sobre o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal em diferentes escalas espaciais (paisagem, regional, nacional e continental), o que destaca a necessidade de estudos que especifiquem o efeito da escala espacial adotada na dinâmica da regeneração florestal ou que comparem diretamente a influência de fatores ambientais na regeneração florestal em diferentes escalas, usando de preferência abordagens empírico-estatísticas. A maioria dos estudos considera uma abordagem mais descritiva do processo de regeneração, sem se apoiar em um teste de hipóteses ou a modelos conceituais que guiem os métodos de avaliação. Apesar dessas restrições, identificamos fatores biofísicos e socioeconômicos que são fortes candidatos a determinantes da regeneração florestal, os quais podem ser utilizados preliminarmente para guiar a tomada de decisão em modelos de priorização da restauração. Torna-se necessário também avançar na avaliação da influência dos fatores socioeconômicos e biofísicos na qualidade da regeneração florestal, em termos de diversidade e estrutura, e investigar em que medida os determinantes das chances de regeneração estão associados à qualidade da regeneração.

2.5. Conclusões

A regeneração florestal não exhibe um padrão espacial aleatório; fatores socioeconômicos e biofísicos interagem para criar padrões em algumas regiões tropicais. Em geral, a regeneração florestal em larga escala é mais frequente em áreas pouco atraentes para a produção agrícola e fortemente favorecida pela maior proximidade de fragmentos e aumento da cobertura florestal. Alguns fatores biofísicos e socioeconômicos poderiam ser considerados em programas de restauração na escolha das áreas mais propensas ao aumento da cobertura florestal (i.e. maior declividade, menor precipitação, maior proximidade aos fragmentos de floresta, maior cobertura florestal na paisagem, maior proteção ambiental e menor proximidade aos centros populacionais). A esse respeito, os modelos espacialmente explícitos (Soares-Filho et al., 2007) se apresentam como uma metodologia promissora para o desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal em larga escala, que auxiliem a escolha de áreas com maiores chances de regeneração florestal e redução de custos

de implantação (e.g. Birch et al., 2010; Molin et al., 2018). É importante destacar que a inconsistência do efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos pode estar associada com o efeito de outros fatores socioeconômicos que possivelmente são contexto-dependente e que atuam a uma escala espacial mais fina (e.g. valorização das florestas, práticas de manejo, mudanças nas políticas de governo, programas ambientais específicos, legislação ambiental e demanda dos produtos agrícolas). Esses fatores talvez não auxiliem a tomada de decisão na definição das áreas com maiores chances de regeneração em larga escala, mas definitivamente afetarão o sucesso das atividades de restauração propostas, de forma que devem ser especialmente considerados (Holl, 2017). Assim, o sucesso de uso da regeneração natural para restauração de florestas e paisagens florestais é dependente de uma abordagem multiescala e multidisciplinar, que considerem não apenas os padrões espaciais e temporais de mudança de uso do solo, como também o processo de tomada de decisão pelos diferentes grupos sociais interagindo na paisagem.

Referências

- Abbas, S., Nichol, J. E., & Fischer, G. A. (2016). A 70-year perspective on tropical forest regeneration. *Science of the Total Environment*, 544, 544-552.
- Aide, T. M., & Grau, H. R. (2004). Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science*, 305 (5692), 1915-1916.
- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., ... & Muñiz, M. (2013). Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271.
- Arroyo-Rodríguez, V., Melo, F. P., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., Meave, J. A., ... & Tabarelli, M. (2017). Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews*, 92(1), 326-340.
- Barlow, J., Gardner, T. A., Araujo, I. S., Ávila-Pires, T. C., Bonaldo, A. B., Costa, J. E., ... & Hoogmoed, M. S. (2007). Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(47), 18555-18560.
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Mac Nally, R., ... & Parry, L. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535(7610), 144.
- Birch, J. C., Newton, A. C., Aquino, C. A., Cantarello, E., Echeverría, C., Kitzberger, T., ... & Garavito, N. T. (2010). Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201003369.
- Bonilla-Moheno, M., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, 12(3), 543-557.
- Brancalion, P. H., Gandolfi, S., & Rodrigues, R. R. (2015). *Restauração florestal. Oficina de textos*. São Paulo,
- Brancalion, P. H., Lamb, D., Ceccon, E., Boucher, D., Herbohn, J., Strassburg, B., & Edwards, D. P. (2017). Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. *Forest policy and economics*, 85, 103-113.
- Brancalion, P. H., Schweizer, D., Gaudare, U., Manguiera, J. R., Lamonato, F., Farah, F. T., ... & Rodrigues, R. R. (2016). Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. *Biotropica*, 48(6), 856-867.
- Busch, J., & Ferretti-Gallon, K. (2017). What drives deforestation and what stops it? A meta-analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 3-23.

Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. 1th Edition. Díaz de Santos.

Cemin, G., & Ducati, J. R. (2015). Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no município de Caxias do Sul-RS. *Revista Árvore*, 39(6).

Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B., Monteiro, L., ... & Strassburg, B. B. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science advances*, 3(11), e1701345.

Crk, T., Uriarte, M., Corsi, F., & Flynn, D. (2009). Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables?. *Landscape Ecology*, 24(5), 629-642.

Chazdon, R. L. (2014). Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. University of Chicago Press.

Chazdon, R. L., Broadbent, E. N., Rozendaal, D. M., Bongers, F., Zambrano, A. M. A., Aide, T. M., ... & Craven, D. (2016). Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, 2(5), e1501639.

Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2016). Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica*, 48(6), 716-730.

Chazdon, R. L., Brancalion, P. H., Lamb, D., Laestadius, L., Calmon, M., & Kumar, C. (2017). A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conservation Letters*, 10(1), 125-132.

Chauvenet, A. L., & Barnes, M. (2016). Expanding protected areas is not enough. *Science (New York, NY)*, 353(6299), 551.

De Rezende, C. L., Uezu, A., Scarano, F. R., & Araujo, D. S. D. (2015). Atlantic forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodiversity and conservation*, 24(9), 2255-2272.

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... & Polasky, S. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272.

Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G. S., Keymer, J., McGlade, J., ... & Wall, D. (2006). Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology*, 87(8), 1915-1924.

Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., & Mayaux, P. (2008). Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 1969-1981.

Endress, B. A., & Chinea, J. D. (2001). Landscape patterns of tropical forest recovery in the Republic of Palau. *Biotropica*, 33(4), 555-565.

Ernst, C., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Christophe, M., & Defourny, P. (2013). National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. *Global change biology*, 19(4), 1173-1187.

Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006a). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management*, 79(1), 74-87.

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006b). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease?. *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 240-254.

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006c). Characterizing a tropical deforestation wave: a dynamic spatial analysis of a deforestation hotspot in the Colombian Amazon. *Global Change Biology*, 12(8), 1409-1420.

Evans, M. C., Carwardine, J., Fensham, R. J., Butler, D. W., Wilson, K. A., Possingham, H. P., & Martin, T. G. (2015). Carbon farming via assisted natural regeneration as a cost-effective mechanism for restoring biodiversity in agricultural landscapes. *Environmental Science & Policy*, 50, 114-129.

Freitas, S. R., Hawbaker, T. J., & Metzger, J. P. (2010). Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, 259(3), 410-417.

- Gavier-Pizarro, G. I., Kuemmerle, T., Hoyos, L. E., Stewart, S. I., Huebner, C. D., Keuler, N. S., & Radeloff, V. C. (2012). Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing of Environment*, 122, 134-145.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What Drives Tropical Deforestation. A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*, (4), 136.
- Geldmann, J., Barnes, M., Coad, L., Craigie, I. D., Hockings, M., & Burgess, N. D. (2013). Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. *Biological Conservation*, 161, 230-238.
- Gibson, L., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Gardner, T. A., Barlow, J., ... & Sodhi, N. S. (2011). Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, 478(7369), 378.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 1185383.
- Grau, H., Hernández, M., Gutierrez, J., Gasparri, N., Casavecchia, M., Flores-Ivaldi, E., & Paolini, L. (2008). A peri-urban neotropical forest transition and its consequences for environmental services. *Ecology and Society*, 13(1).
- Gutiérrez, N., Gärtner, S., López, J. Y., Pacheco, C. E., & Reif, A. (2013). The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela. *Regional Environmental Change*, 13(5), 1069-1085.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Kommareddy, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science*, 342(6160), 850-853.
- Holl, K. D. (2017). Restoring tropical forests from the bottom up. *Science*, 355(6324), 455-456.
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems?. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558-1563.
- Howe, H. F., & Miriti, M. N. (2004). When seed dispersal matters. *AIBS Bulletin*, 54(7), 651-660.
- Hua, F., Wang, X., Zheng, X., Fisher, B., Wang, L., Zhu, J., ... & Wilcove, D. S. (2016). Opportunities for biodiversity gains under the world's largest reforestation programme. *Nature communications*, 7, 12717.
- Jacob, M., Romeyns, L., Frankl, A., Asfaha, T., Beeckman, H., & Nyssen, J. (2016). Land Use and Cover Dynamics Since 1964 in the Afro-Alpine Vegetation Belt: Lib Amba Mountain in North Ethiopia. *Land degradation & development*, 27(3), 641-653.
- Jadin, I., Meyfroidt, P., & Lambin, E. F. (2016). International trade, and land use intensification and spatial reorganization explain Costa Rica's forest transition. *Environmental Research Letters*, 11(3), 035005.
- Joshi, N., Mitchard, E. T., Woo, N., Torres, J., Moll-Rocek, J., Ehammer, A., ... & Fensholt, R. (2015). Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. *Environmental Research Letters*, 10(3), 034014.
- Kolb, M., Mas, J. F., & Galicia, L. (2013). Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1804-1827.
- Koricheva, J., Gurevitch, J., & Mengersen, K. (Eds.). (2013). *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton University Press.
- Laestadius, L., Buckingham, K., Maginnis, S., & Saint-Laurent, C. (2015). Before Bonn and beyond: the history and future of forest landscape restoration. *Unasylva*, 66(245), 11.
- Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A., & Geist, H. J. (2000). Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3), 321-331.
- Latawiec, A. E., Strassburg, B. B., Brancalion, P. H., Rodrigues, R. R., & Gardner, T. (2015). Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(4), 211-218.

- Lee, I. S., Shin, D. H., Ahn, S. M., Lee, K. S., & Jeon, S. W. (2002). Comparison of Visual Interpretation and Image Classification of Satellite Data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 18(3), 163-169.
- Lewis, S. L., Edwards, D. P., & Galbraith, D. (2015). Increasing human dominance of tropical forests. *Science*, 349(6250), 827-832.
- Lindenmayer, D. B., Hulvey, K. B., Hobbs, R. J., Colyvan, M., Felton, A., Possingham, H., ... & Gibbons, P. (2012). Avoiding bio-perversity from carbon sequestration solutions. *Conservation Letters*, 5(1), 28-36.
- Lira, P. K., Tambosi, L. R., Ewers, R. M., & Metzger, J. P. (2012). Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 278, 80-89.
- Liu, J. (2001). Integrating ecology with human demography, behavior, and socioeconomics: needs and approaches. *Ecological Modelling*, 140(1-2), 1-8.
- Maeda, E. E., De Almeida, C. M., de Carvalho Ximenes, A., Formaggio, A. R., Shimabukuro, Y. E., & Pellikka, P. (2011). Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 435-446.
- Malhi, Y., Gardner, T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R., & Zelazowski, P. (2014). Tropical forests in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 39:125-59.
- Martin, P. A., Newton, A. C., & Bullock, J. M. (2013). Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. *Proc. R. Soc. B*, 280(1773), 20132236.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 20(1), 139-152.
- Meli, P., Holl, K. D., Benayas, J. M. R., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., & Mateos, D. M. (2017). A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PloS one*, 12(2), e0171368.
- Melo, F. P., Pinto, S. R., Brancalion, P. H., Castro, P. S., Rodrigues, R. R., Aronson, J., & Tabarelli, M. (2013). Priority setting for scaling-up tropical forest restoration projects: Early lessons from the Atlantic Forest Restoration Pact. *Environmental science & policy*, 33, 395-404.
- Meyfroidt, P., & Lambin, E. F. (2008). Forest transition in Vietnam and its environmental impacts. *Global Change Biology*, 14(6), 1319-1336.
- Mitsuda, Y., & Ito, S. (2011). A review of spatial-explicit factors determining spatial distribution of land use/land-use change. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 117-125.
- Molin, P. G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., & Brancalion, P. H. (2018). A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *Journal of applied ecology*, 55(6), 2767-2778.
- Molin, P. G., Gergel, S. E., Soares-Filho, B. S., & Ferraz, S. F. (2017). Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. *Landscape Ecology*, 32(4), 857-870.
- Müller, H., Rufin, P., Griffiths, P., Hissa, L. D. B. V., & Hostert, P. (2016). Beyond deforestation: Differences in long-term regrowth dynamics across land use regimes in southern Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 186, 652-662.
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Andrade, Á., Andrade, G. I., Aronson, J., Escobar, E. M., ... & Montes, E. (2016). Challenges and prospects for scaling-up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. *Conservation Letters*, 9(3), 213-220.
- Nagendra, H., Paul, S., Pareeth, S., & Dutt, S. (2009). Landscapes of protection: forest change and fragmentation in Northern West Bengal, India. *Environmental Management*, 44(5), 853.
- Newman, M. E., McLaren, K. P., & Wilson, B. S. (2014). Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 185-200.
- Newmark, W. D., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., McNeally, P. B., & Halley, J. M. (2017). Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), 9635-9640.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., ... & Loucks, C. J. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51(11), 933-938.

Ouedraogo, I., Savadogo, P., Tigabu, M., Dayamba, S. D., & Odén, P. C. (2011). Systematic and random transitions of land-cover types in Burkina Faso, West Africa. *International journal of remote sensing*, 32(18), 5229-5245.

Pérez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A. (2012). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*, 29(1), 11-23.

Peterjohn, W. T., & Correll, D. L. (1984). Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5), 1466-1475.

Pingali, P. (2007). Agricultural mechanization: adoption patterns and economic impact. *Handbook of agricultural economics*, 3, 2779-2805.

Poorter, L., Bongers, F., Aide, T. M., Zambrano, A. M. A., Balvanera, P., Becknell, J. M., ... & Craven, D. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211.

Projeto MapBiomas – Coleção v.3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em <http://mapbiomas.org/pages/atbd>. Acessado em 06 de outubro de 2018.

Possingham, H. P., Bode, M., & Klein, C. J. (2015). Optimal conservation outcomes require both restoration and protection. *PLoS biology*, 13(1), e1002052.

Reddy, C. S., Satish, K. V., Jha, C. S., Diwakar, P. G., Murthy, Y. K., & Dadhwal, V. K. (2016). Development of deforestation and land cover database for Bhutan (1930–2014). *Environmental monitoring and assessment*, 188(12), 658.

Reid, J. L., Fagan, M. E., Lucas, J., Slaughter, J., & Zahawi, R. A. (2018). The ephemerality of secondary forests in southern Costa Rica. *Conservation Letters*, e12607.

Richards, J. A. (1999). *Remote sensing digital image analysis: An Introduction*, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus.

Rodrigues, R. R., Gandolfi, S., Nave, A. G., Aronson, J., Barreto, T. E., Vidal, C. Y., & Brancalion, P. H. (2011). Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1605-1613.

Rudel, T. K. (2012). The human ecology of regrowth in the tropics. *Journal of Sustainable Forestry*, 31(4-5), 340-354.

Rudel, T. K. (2015). Have tropical deforestation's changing dynamics created conservation opportunities? A historical analysis. *Environmental conservation*, 42(2), 108-118.

Sánchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013a). Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: a multi-scaled analysis. *Ecosystems*, 16(6), 1052-1070.

Sanchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013b). Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001–2010): implications for protected areas. *Ecosphere*, 4(11), 1-21.

Satish, K. V., Saranya, K. R. L., Reddy, C. S., Krishna, P. H., Jha, C. S., & Rao, P. P. (2014). Geospatial assessment and monitoring of historical forest cover changes (1920–2012) in Nilgiri Biosphere Reserve, Western Ghats, India. *Environmental monitoring and assessment*, 186(12), 8125-8140.

Schulz, J. J., Cayuela, L., Rey-Benayas, J. M., & Schröder, B. (2011). Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). *Applied vegetation science*, 14(4), 571-582.

Schweizer, D., Meli, P., Brancalion, P.H., & Guariguata, M. R. (in prep). Enabling forest landscape restoration in Latin America: The role of legal frameworks. *Land use policy: special issue*.

SER Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration. Disponível em <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration>. Acessado em abril de 2018.

Singh, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10(6), 989-1003.

Sloan, S. (2015). The development-driven forest transition and its utility for REDD+. *Ecological Economics*, 116, 1-11.

Sloan, S., Goosem, M., & Laurance, S. G. (2016). Tropical forest regeneration following land abandonment is driven by primary rainforest distribution in an old pastoral region. *Landscape Ecology*, 31(3), 601-618

Sloan, S., & Sayer, J. A. (2015). Forest Resources Assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 134-145.

Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C., Araújo, W. L., & Voll, E. (2007). Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Megadiversidade*, 74.

Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639.

Southworth, J., & Tucker, C. (2001). The influence of accessibility, local institutions, and socioeconomic factors on forest cover change in the mountains of western Honduras. *Mountain Research and Development*, 21(3), 276-283.

Souza, S. E. F., Vidal, E., Chagas, G. D. F., Elgar, A. T., & Brancalion, P. H. (2016). Ecological outcomes and livelihood benefits of community-managed agroforests and second growth forests in Southeast Brazil. *Biotropica*, 48(6), 868-881.

Stickler, M. M., & Shackleton, C. M. (2015). Local wood demand, land cover change and the state of Albany thicket on an urban commonage in the Eastern Cape, South Africa. *Environmental management*, 55(2), 411-422.

Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, C. B., Baker, M., ... & Randall, A. (2015). Committing to ecological restoration. *Science*, 348(6235), 638-640.

Tabarelli, M., Aguiar, A. V., Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., & Peres, C. A. (2010). Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation*, 143(10), 2328-2340.

Teixeira, A. M. G., Soares-Filho, B. S., Freitas, S. R., & Metzger, J. P. (2009). Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257(4), 1219-1230.

Temperton, V. M., Higgs, E., Choi, Y. D., Allen, E., Lamb, D., Lee, C. S., ... & Zedler, J. B. (2014). Flexible and adaptable restoration: an example from South Korea. *Restoration ecology*, 22(3), 271-278.

Thornton, P. K., Ericksen, P. J., Herrero, M., & Challinor, A. J. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, 20(11), 3313-3328.

Walsh, S. J., Shao, Y., Mena, C. F., & McCleary, A. L. (2008). Integration of Hyperion satellite data and a household social survey to characterize the causes and consequences of reforestation patterns in the northern Ecuadorian Amazon. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(6), 725-735.

Wang, S., Ji, Y., Ouyang, Z., Zhang, L., & Jia, L. (2015). Combining satellite and GIS data to analyze changes in tropical forests on Central Hainan Island in response to the national logging ban and economic development. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(1 B), 394-404.

Watson, J. E., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., ... & McAlpine, C. (2018). The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature ecology & evolution*, 2, 599-610.

Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200).

Wu, J., & Hobbs, R. (2002). Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape ecology*, 17(4), 355-365.

Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem. *Nature News*, 477(7365), 371-371.

Yackulic, C., Fagan, M., Jain, M., Jina, A., Lim, Y., Marlier, M., ... & Uriarte, M. (2011). Biophysical and socioeconomic factors associated with forest transitions at multiple spatial and temporal scales. *Ecology and Society*, 16(3).

Zhai, D. L., Xu, J. C., Dai, Z. C., Cannon, C. H., & Grumbine, R. E. (2014). Increasing tree cover while losing diverse natural forests in tropical Hainan, China. *Regional Environmental Change*, 14(2), 611-621.

Zomer, R. J., Ustin, S. L., & Carpenter, C. C. (2001). Land cover change along tropical and subtropical riparian corridors within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal. *Mountain Research and Development*, 21(2), 175-183.

Apêndices

Apêndice 1. Listado completo de artigos inclusos neste trabalho

Num.	Referência	Título	País(es) onde o estudo foi desenvolvido	Revista	Ano de publicação
1	Thomlinson, J. R., Serrano, M. I., Lopez, T. D. M., Aide, T. M., & Zimmerman, J. K. (1996). Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape (1936-1988). <i>Biotropica</i> , 525-536.	Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape (1936-1988)	Porto Rico	Biotropica	1996
2	Fisher, A. M., & Harris, S. J. (1999). The dynamics of tree cover change in a rural Australian landscape. <i>Landscape and Urban Planning</i> , 45(4), 193-207.	The dynamics of tree cover change in a rural Australian landscape	Austrália	Landscape and Urban Planning	1999
3	Foster, D. R., Fluet, M., & Boose, E. R. (1999). Human or natural disturbance: landscape-scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico. <i>Ecological applications</i> , 9(2), 555-572.	Human or natural disturbance: landscape-scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico	Puerto Rico	Ecological applications	1999
4	Southworth, J., & Tucker, C. (2001). The influence of accessibility, local institutions, and socioeconomic factors on forest cover change in the mountains of western Honduras. <i>Mountain Research and Development</i> , 21(3), 276-283.	The influence of accessibility, local institutions, and socioeconomic factors on forest cover change in the mountains of western Honduras	Honduras	Mountain Research and Development	2001
5	Zomer, R. J., Ustin, S. L., & Carpenter, C. C. (2001). Land cover change along tropical and subtropical riparian corridors within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal. <i>Mountain Research and Development</i> , 21(2), 175-183.	Land cover change along tropical and subtropical riparian corridors within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal	Nepal	Mountain Research and Development	2001
6	Endress, B. A., & Chinea, J. D. (2001). Landscape Patterns of Tropical Forest Recovery in the Republic of Palau. <i>Biotropica</i> , 33(4), 555-565.	Landscape Patterns of Tropical Forest Recovery in the Republic of Palau	Palau	Biotropica	2001
7	Alvarez, N. L., & Naughton-Treves, L. (2003). Linking national agrarian policy to deforestation in the Peruvian Amazon: a case study of Tambopata, 1986–1997. <i>AMBIO: A Journal of the Human Environment</i> , 32(4), 269-274.	Linking national agrarian policy to deforestation in the Peruvian Amazon: a case study of Tambopata, 1986–1997	Peru	AMBIO: A Journal of the Human Environment	2003
8	Viña, A., Echavarría, F. R., & Rundquist, D. C. (2004). Satellite change detection analysis of deforestation rates and patterns along the Colombia: Ecuador border. <i>Ambio</i> , 118-125.	Satellite change detection analysis of deforestation rates and patterns along the Colombia: Ecuador border	Colômbia Equador	- Ambio	2004
9	Soares-Filho, B., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera Diaz, M. D. C., Rivero, S., ... & Voll, E. (2004). Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. <i>Global change biology</i> , 10(5), 745-764.	Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor	Brazil	Global change biology	2004
10	Arroyo-Mora, J. P., Sánchez-Azofeifa, G. A., Rivard, B., Calvo, J. C., & Janzen, D. H. (2005). Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> , 106(1), 27-39.	Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000	Costa Rica	Agriculture, Ecosystems & Environment	2005

11	Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. <i>Journal of environmental management</i> , 79(1), 74-87.	Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates	Colômbia	Journal of environmental management	2006
12	Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease?. <i>Landscape and Urban Planning</i> , 77(3), 240-254.	Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease?	Colômbia	Landscape and Urban Planning	2006
13	Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Characterizing a tropical deforestation wave: a dynamic spatial analysis of a deforestation hotspot in the Colombian Amazon. <i>Global Change Biology</i> , 12(8), 1409-1420.	Characterizing a tropical deforestation wave: a dynamic spatial analysis of a deforestation hotspot in the Colombian Amazon	Colômbia	Global Change Biology	2006
14	Neeff, T., Lucas, R. M., Dos Santos, J. R., Brondizio, E. S., & Freitas, C. C. (2006). Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical estimate. <i>Ecosystems</i> , 9(4), 609-623.	Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical estimate	Brazil	Ecosystems	2006
15	Goerner, A., Gloaguen, R., & Makeschin, F. (2007). Monitoring of the Ecuadorian mountain rainforest with remote sensing. <i>Journal of Applied Remote Sensing</i> , 1(1), 013527.	Monitoring of the Ecuadorian mountain rainforest with remote sensing	Ecuador	Applied Remote Sensing	2007
16	Dupuy Rada, J. M., González Iturbe, J. A., Iriarte Vivar, S., Calvo Iribien, L. M., Espadas Manrique, C., Tun Dzul, F., & Dorantes Euán, A. (2007). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. <i>Investigaciones geográficas</i> , (62), 104-123.	Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo	México	Investigaciones geográficas	2007
17	Arredondo-León, C., Muñoz-Jiménez, J., & García-Romero, A. (2008). Recent changes in landscape-dynamics trends in tropical highlands, central Mexico. <i>Interciencia</i> , 33(8).	Recent changes in landscape-dynamics trends in tropical highlands, central Mexico	México	Interciencia	2008
18	Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., & Mayaux, P. (2008). Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. <i>Remote Sensing of Environment</i> , 112(5), 1969-1981.	Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts	Bacia do Congo	Remote Sensing of Environment	2008
19	Forrest, J. L., Sanderson, E. W., Wallace, R., Lazzo, T. M. S., Cerveró, L. H. G., & Coppolillo, P. (2008). Patterns of land cover change in and around Madidi National Park, Bolivia. <i>Biotropica</i> , 40(3), 285-294.	Patterns of land cover change in and around Madidi National Park	Bolívia	Biotropica	2008
20	Meyfroidt, P., & Lambin, E. F. (2008). Forest transition in Vietnam and its environmental impacts. <i>Global Change Biology</i> , 14(6), 1319-1336.	Forest transition in Vietnam and its environmental impacts	Vietnã	Global Change Biology	2008
21	Walsh, S. J., Shao, Y., Mena, C. F., & McCleary, A. L. (2008). Integration of Hyperion satellite data and a household social survey to characterize the causes and consequences of reforestation patterns in the northern Ecuadorian Amazon. <i>Photogrammetric Engineering & Remote Sensing</i> , 74(6), 725-735.	Integration of Hyperion satellite data and a household social survey to characterize the causes and consequences of reforestation patterns in the northern Ecuadorian Amazon	Ecuador	Photogrammetric Engineering & Remote Sensing	2008
22	Crk, T., Uriarte, M., Corsi, F., & Flynn, D. (2009). Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables?. <i>Landscape Ecology</i> , 24(5), 629-642.	Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables?	Puerto Rico	Landscape Ecology	2009
23	Nagendra, H., Paul, S., Pareeth, S., & Dutt, S. (2009). Landscapes of protection: forest change and fragmentation in Northern West Bengal, India. <i>Environmental Management</i> , 44(5), 853.	Landscapes of protection: forest change and fragmentation in Northern West Bengal, India.	India	Environmental Management	2009
24	Teixeira, A. M. G., Soares-Filho, B. S., Freitas, S. R., & Metzger, J. P. (2009). Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation. <i>Forest Ecology and Management</i> , 257(4), 1219-1230.	Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation	Brazil	Forest Ecology and Management	2009
25	Freitas, S. R., Hawbaker, T. J., & Metzger, J. P. (2010). Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. <i>Forest Ecology and Management</i> , 259(3), 410-417.	Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest	Brazil	Forest Ecology and Management	2010

26	Mondal, P., & Southworth, J. (2010). Protection vs. commercial management: Spatial and temporal analysis of land cover changes in the tropical forests of Central India. <i>Forest Ecology and Management</i> , 259(5), 1009-1017.	Protection vs. commercial management: Spatial and temporal analysis of land cover changes in the tropical forests of Central India	India	Forest Ecology and Management	2010
27	Rueda, X. (2010). Understanding deforestation in the southern Yucatán: insights from a sub-regional, multi-temporal analysis. <i>Regional Environmental Change</i> , 10(3), 175-189.	Understanding deforestation in the southern Yucatán: insights from a sub-regional, multi-temporal analysis	México	Regional Environmental Change	2010
28	Dalle, S. P., Pulido, M. T., & Blois, S. D. (2011). Balancing shifting cultivation and forest conservation: lessons from a "sustainable landscape" in southeastern Mexico. <i>Ecological Applications</i> , 21(5), 1557-1572.	Balancing shifting cultivation and forest conservation: lessons from a "sustainable landscape" in southeastern Mexico	México	Ecological Applications	2011
29	Maeda, E. E., De Almeida, C. M., de Carvalho Ximenes, A., Formaggio, A. R., Shimabukuro, Y. E., & Pellikka, P. (2011). Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. <i>International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation</i> , 13(3), 435-446.	Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon	Brazil	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	2011
30	Marsik, M., Stevens, F. R., & Southworth, J. (2011). Amazon deforestation: Rates and patterns of land cover change and fragmentation in Pando, northern Bolivia, 1986 to 2005. <i>Progress in Physical Geography</i> , 35(3), 353-374.	Amazon deforestation: Rates and patterns of land cover change and fragmentation in Pando, northern Bolivia, 1986 to 2005	Bolivia	Progress in Physical Geography	2011
31	Ouedraogo, I., Savadogo, P., Tigabu, M., Dayamba, S. D., & Odén, P. C. (2011). Systematic and random transitions of land-cover types in Burkina Faso, West Africa. <i>International journal of remote sensing</i> , 32(18), 5229-5245.	Systematic and random transitions of land-cover types in Burkina Faso, West Africa.	Burkina Faso	International journal of remote sensing	2011
32	Schulz, J. J., Cayuela, L., Rey-Benayas, J. M., & Schröder, B. (2011). Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). <i>Applied vegetation science</i> , 14(4), 571-582.	Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008)	Chile	Applied vegetation science	2011
33	Yoshikawa, S., & Sanga-Ngoie, K. (2011). Deforestation dynamics in Mato Grosso in the southern Brazilian Amazon using GIS and NOAA/AVHRR data. <i>International Journal of Remote Sensing</i> , 32(2), 523-544.	Deforestation dynamics in Mato Grosso in the southern Brazilian Amazon using GIS and NOAA/AVHRR data	Brazil	International Journal of Remote Sensing	2011
34	Mas, J. F., & Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. <i>GeoTropico</i> , 5(1), 1-24.	Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México	México	GeoTropico	2011
35	Mendoza, M. E., Granados, E. L., Geneletti, D., Pérez-Salícup, D. R., & Salinas, V. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). <i>Applied Geography</i> , 31(1), 237-250.	Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003)	México	Applied Geography	2011
36	Bonilla-Moheno, M., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. <i>Regional Environmental Change</i> , 12(3), 543-557.	The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico.	México	Regional Environmental Change	2012
37	Lira, P. K., Tambosi, L. R., Ewers, R. M., & Metzger, J. P. (2012). Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. <i>Forest Ecology and Management</i> , 278, 80-89.	Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes	Brazil	Forest Ecology and Management	2012
38	Pérez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A. (2012). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. <i>Environmental Modelling & Software</i> , 29(1), 11-23.	Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest	México	Environmental Modelling & Software	2012
39	Yanai, A. M., Fearnside, P. M., de Alencastro Graça, P. M. L., & Nogueira, E. M. (2012). Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve. <i>Forest Ecology and Management</i> , 282, 78-91.	Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve	Brazil	Forest Ecology and Management	2012
40	Gaviera-Pizarro, G. I., Kuemmerle, T., Hoyos, L. E., Stewart, S. I., Huebner, C. D., Keuler, N. S., & Radeloff, V. C. (2012). Monitoring the invasion of an exotic tree (<i>Ligustrum lucidum</i>) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+	Monitoring the invasion of an exotic tree (<i>Ligustrum lucidum</i>) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+	Argentina	Remote Sensing of Environment	2012

	from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. <i>Remote Sensing of Environment</i> , 122, 134-145.	satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina			
41	Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., ... & Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). <i>Biotropica</i> , 45(2), 262-271.	Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010)	América Latina e o Caribe	Biotropica	2013
42	Ernst, C., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Christophe, M., & Defourny, P. (2013). National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. <i>Global change biology</i> , 19(4), 1173-1187.	National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005	Bacia do Congo	Global change biology	2013
43	Gutiérrez, N., Gärtner, S., Pacheco, C. E., & Reif, A. (2013). The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela. <i>Regional environmental change</i> , 13(5), 1069-1085.	The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela	Venezuela	Regional environmental change	2013
44	Kolb, M., Mas, J. F., & Galicia, L. (2013). Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. <i>International Journal of Geographical Information Science</i> , 27(9), 1804-1827.	Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico	México	International Journal of Geographical Information Science	2013
45	Hylander, K., Nemomissa, S., Delrue, J., & Enkosa, W. (2013). Effects of coffee management on deforestation rates and forest integrity. <i>Conservation biology</i> , 27(5), 1031-1040.	Effects of coffee management on deforestation rates and forest integrity	Etiópia	Conservation biology	2013
46	Sánchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013). Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: a multi-scaled analysis. <i>Ecosystems</i> , 16(6), 1052-1070.	Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: a multi-scaled analysis	Colômbia	Ecosystems	2013
47	Sanchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013). Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001–2010): implications for protected areas. <i>Ecosphere</i> , 4(11), 1-21.	Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001–2010): implications for protected areas	Colômbia	Ecosphere	2013
48	Macedo, R. D. C., de Almeida, C. M., dos Santos, J. R., & Rudorff, B. F. T. (2013). Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. <i>Boletim de Ciências Geodésicas</i> , 19(2).	Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira	Brazil	Boletim de Ciências Geodésicas	2013
49	Satish, K. V., Saranya, K. R. L., Reddy, C. S., Krishna, P. H., Jha, C. S., & Rao, P. P. (2014). Geospatial assessment and monitoring of historical forest cover changes (1920–2012) in Nilgiri Biosphere Reserve, Western Ghats, India. <i>Environmental monitoring and assessment</i> , 186(12), 8125-8140.	Geospatial assessment and monitoring of historical forest cover changes (1920–2012) in Nilgiri Biosphere Reserve, Western Ghats, India	India	Environmental monitoring and assessment	2014
50	Zhai, D. L., Xu, J. C., Dai, Z. C., Cannon, C. H., & Grumbine, R. E. (2014). Increasing tree cover while losing diverse natural forests in tropical Hainan, China. <i>Regional Environmental Change</i> , 14(2), 611-621.	Increasing tree cover while losing diverse natural forests in tropical Hainan, China	China	Regional Environmental Change	2014
51	Ferraz, S. F., Ferraz, K. M., Cassiano, C. C., Brancalion, P. H. S., da Luz, D. T., Azevedo, T. N., ... & Metzger, J. P. (2014). How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning?. <i>Landscape ecology</i> , 29(2), 187-200.	How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning?	Brazil	Landscape ecology	2014
52	Newman, M. E., McLaren, K. P., & Wilson, B. S. (2014). Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i> , 186, 185-200.	Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica	Jamaica	Agriculture, Ecosystems & Environment	2014
53	Joshi, N., Mitchard, E. T., Woo, N., Torres, J., Moll-Roczek, J., Ehammer, A., ... & Fensholt, R. (2015). Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. <i>Environmental Research Letters</i> , 10(3), 034014.	Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data	Peru	Environmental Research Letters	2015
54	Sloan, S. (2015). The development-driven forest transition and its utility for REDD+. <i>Ecological Economics</i> , 116, 1-11.	The development-driven forest transition and its utility for REDD+	Panamá	Ecological Economics	2015
55	Wang, S., Ji, Y., Ouyang, Z., Zhang, L., & Jia, L. (2015). Combining satellite and GIS data to analyze changes in tropical forests on Central	Combining satellite and GIS data to analyze changes in tropical forests on Central	China	Fresenius Environmental Bulletin	2015

	Hainan Island in response to the national logging ban and economic development. <i>Fresenius Environmental Bulletin</i> , 24(1 B), 394-404.	Hainan Island in response to the national logging ban and economic development			
56	Cemin, G., & Ducati, J. R. (2015). Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no município de Caxias do Sul-RS. <i>Revista Árvore</i> . Viçosa. Vol. 39, n. 6 (Nov./Dec. 2015), p. 1019-1030.	Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no município de Caxias do Sul-RS	Brazil	Revista Árvore	2015
57	de Rezende, C. L., Uezu, A., Scarano, F. R., & Araujo, D. S. D. (2015). Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. <i>Biodiversity and conservation</i> , 24(9), 2255-2272.	Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale	Brazil	Biodiversity and conservation	2015
58	Stickler, M. M., & Shackleton, C. M. (2015). Local wood demand, land cover change and the state of Albany thicket on an urban commonage in the Eastern Cape, South Africa. <i>Environmental management</i> , 55(2), 411-422.	Local wood demand, land cover change and the state of Albany thicket on an urban commonage in the Eastern Cape, South Africa	África do Sul	Environmental management	2015
59	Abbas, S., Nichol, J. E., & Fischer, G. A. (2016). A 70-year perspective on tropical forest regeneration. <i>Science of the Total Environment</i> , 544, 544-552.	A 70-year perspective on tropical forest regeneration	Hong Kong	Science of the Total Environment	2016
60	Müller, H., Rufin, P., Griffiths, P., Hissa, L. D. B. V., & Hostert, P. (2016). Beyond deforestation: Differences in long-term regrowth dynamics across land use regimes in southern Amazonia. <i>Remote Sensing of Environment</i> , 186, 652-662.	Beyond deforestation: Differences in long-term regrowth dynamics across land use regimes in southern Amazonia	Brazil	Remote Sensing of Environment	2016
61	Reddy, C. S., Jha, C. S., Dadhwal, V. K., Krishna, P. H., Pasha, S. V., Satish, K. V., ... & Diwakar, P. G. (2016). Quantification and monitoring of deforestation in India over eight decades (1930–2013). <i>Biodiversity and conservation</i> , 25(1), 93-116.	Quantification and monitoring of deforestation in India over eight decades (1930–2013)	Butão	Biodiversity and conservation	2016
62	Sloan, S., Goosem, M., & Laurance, S. G. (2016). Tropical forest regeneration following land abandonment is driven by primary rainforest distribution in an old pastoral region. <i>Landscape Ecology</i> , 31(3), 601-618.	Tropical forest regeneration following land abandonment is driven by primary rainforest distribution in an old pastoral region	Austrália	Landscape Ecology	2016
63	Jacob, M., Romeyns, L., Frankl, A., Asfaha, T., Beeckman, H., & Nyssen, J. (2016). Land Use and Cover Dynamics Since 1964 in the Afro-Alpine Vegetation Belt: Lib Amba Mountain in North Ethiopia. <i>Land degradation & development</i> , 27(3), 641-653.	Land Use and Cover Dynamics Since 1964 in the Afro-Alpine Vegetation Belt: Lib Amba Mountain in North Ethiopia	Etiópia	Land degradation & development	2016
64	Molin, P. G., Gergel, S. E., Soares-Filho, B. S., & Ferraz, S. F. (2017). Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. <i>Landscape ecology</i> , 32(4), 857-870.	Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil	Brazil	Landscape ecology	2017

3. DETERMINANTES BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS DA REGENERAÇÃO NATURAL DE FLORESTAS TROPICAIS EM PAISAGENS AGRÍCOLAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO CORUMBATAI NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Resumo

Embora a regeneração natural seja uma estratégia promissora para o cumprimento das recentes metas de restauração de florestas e paisagens florestais estabelecidas em todos os níveis (regional, nacional e global), é necessário identificar os principais determinantes relacionados a esse processo, bem como seu efeito na tomada de decisão dos proprietários em relação ao uso da terra em paisagens agrícolas. Este trabalho descreve a influência dos determinantes biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 numa paisagem rural no sudeste do Brasil. A regeneração florestal foi identificada a partir da análise multitemporal de imagens de satélite. A maioria das informações socioeconômicas esteve associada à propriedade rural e seu proprietário e foi obtida através de uma pesquisa social, no qual a propriedade rural foi escolhida como unidade de estudo. Os principais fatores biofísicos que influenciaram positivamente a regeneração foram aqueles associados à aptidão agrícola do solo e à facilidade de dispersão de sementes para as áreas em regeneração. Entre os fatores socioeconômicos, destacaram-se a elevada heterogeneidade de cobertura do solo presentes na propriedade rural e a baixa dependência econômica do proprietário da renda gerada pelas atividades produtivas realizadas na propriedade. Nossos resultados podem ajudar no desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração na paisagem deste estudo, ou em outras paisagens tropicais com condições socioecológicas similares. Adicionalmente, nossos resultados destacam a importância de considerar o efeito local dos determinantes biofísicos e socioeconômicos para que tanto os modelos preditivos, quanto as atividades de restauração, sejam melhor sucedidos.

Palavras-chave: Florestas secundárias; Restauração ecológica; Restauração florestal; Restauração de paisagens florestais; determinantes espaciais; Paisagem antrópica; Agricultores.

Abstract

Although natural regeneration is a very promising strategy to fulfilling forest and landscape restoration commitments established at all levels (regional, national and global), it is necessary to identify the main drivers related to this process and their effects in the landowners' decision-making regarding to land uses. This study describes the influence of biophysical and socioeconomic drivers on natural regeneration of forest, detected between 1995 and 2018 in a rural landscape in southeastern Brazil. Natural regeneration of forest was identified from multi-temporal time series analysis of satellite images. Most of the socioeconomic information came from the rural property and their owners, obtained through a social survey, in which the rural property was chosen as study unit. The main biophysical drivers that positively influenced natural regeneration of forest were those associated to the agricultural land-suitability and seed dispersal feasibility toward the regenerated areas. Among socioeconomic drivers, the high heterogeneity of land covers within rural property and the owner's low economic dependence over the activities done in the property also positively influenced forest natural regeneration. These results are important since can be used to develop predictive models of regeneration likelihood and guide the implementation of restoration activities in the study landscape or in any other tropical landscapes with similar socio-ecological condition. In addition, the results emphasize the importance of considering the effect of biophysical and socioeconomic drivers at local level to the success of predictive models and restoration activities.

Keywords: Secondary forests; Ecological restoration; Forest restoration; Forest landscape restoration; Spatial drivers, Human-modified landscape; Farmers.

3.1. Introdução

A destruição das florestas nativas pelas atividades antrópicas é a principal causa da perda de biodiversidade no mundo (Chaudhary et al., 2016). Com a supressão da floresta desaparecem

também as funções ecológicas por elas exercidas, comprometendo a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para o bem-estar humano (Dobson et al., 2006; Díaz et al., 2018). Como forma de enfrentar esse processo histórico de destruição de florestas nativas, recentes iniciativas nacionais e internacionais têm promovido a restauração de paisagens florestais. Em 2010, a Convenção da Diversidade Biológica propôs a meta de restaurar 15% dos ecossistemas terrestres degradados até 2020. Em 2014, na cúpula mundial sobre o clima das Nações Unidas em Nova York, foi lançada a meta de restaurar 150 milhões de hectares desmatados no planeta até 2020, e a partir daí, pelo menos 200 milhões de hectares adicionais até 2030 (Suding et al., 2015). Nesse mesmo ano, na Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas em Lima, foi proposta a meta de restaurar 20 milhões de hectares na América Latina e no Caribe até 2020 (WRI, 2018). Por fim, a Organização das Nações Unidas declarou que a década de 2021-2030 será a década da restauração de ecossistemas (ONU, 2019). Atingir esses compromissos internacionais demanda, sem dúvida, que as metas anteriormente referidas se integrem aos programas nacionais e regionais dos países participantes dessas iniciativas, bem como a adoção de estratégias efetivas de restauração em larga escala (Holl 2017; Meli et al., 2017).

A restauração em larga escala é um enorme desafio científico e tecnológico que apresenta importantes lacunas de conhecimento para seu efetivo desenvolvimento, uma vez que a maioria das pesquisas já realizadas sobre restauração se restringem à escala de parcela, negligenciando a ampla variação biofísica e socioeconômica existente em maiores escalas espaciais (Holl 2017; Brancalion e van Melis, 2017). Outra limitação se refere aos métodos utilizados, muitos dos quais não são viáveis em grande escala ou capazes de adaptar-se a diferentes contextos socioecológicos, especialmente nos países tropicais, onde há maior dependência da população da exploração de recursos naturais (Holl 2017; Meli et al., 2017). Nesse contexto, o conceito de restauração de paisagens florestais, proposto pela União Internacional para Conservação da Natureza (UICN, pelas siglas em inglês) e o Fundo Mundial para a Natureza (WWF, pelas siglas em inglês), oferece uma valiosa oportunidade para construir um modelo alternativo de restauração ecológica, viável em larga escala e mais atrativo aos produtores rurais e investidores (Laestadius et al., 2015).

A restauração de paisagens florestais tem como alvo o restabelecimento da funcionalidade ecológica de paisagens degradadas, buscando aliar a conservação da biodiversidade com o bem-estar das pessoas (Laestadius et al., 2015; Sabogal et al., 2015). Para alcançar esses objetivos é possível utilizar diversas estratégias para aumentar a cobertura de árvores em paisagens degradadas, como a condução da regeneração natural, os plantios comerciais de espécies nativas e exóticas, os plantios de restauração florestal e os sistemas agroflorestais (Stanturf et al., 2014; Chazdon e Guariguata, 2016). Entre as estratégias utilizadas na restauração de paisagens florestais, a condução da regeneração natural é especialmente interessante (Chazdon e Guariguata, 2016; Chazdon, 2016). Esta estratégia visa acelerar os processos sucessionais que levam ao estabelecimento de uma floresta, utilizando técnicas de baixo custo como a restrição ao pastoreio, à queima e à perturbação com máquinas agrícolas, o uso do desbaste da vegetação para promover o crescimento dos regenerantes e em algumas circunstâncias, o enriquecimento com o plantio de mudas (Brancalion et al., 2015). No entanto, o processo sucessional que leva à recomposição de uma

floresta pode ser afetado por uma série de fatores bióticos e abióticos, como as características do local (solo e microclima), a competição com espécies invasoras e a presença de fontes de propágulos e seus dispersores (Hardwick et al., 2004; Ceccon et al., 2006; Khaine et al., 2018), e por fatores de origem antrópica como fogo, pastoreio ou recomeço de um novo ciclo de cultivo em áreas de pousio (Müller et al., 2016; Mukul e Herbohn, 2016).

A condução da regeneração natural tem sido amplamente considerada uma estratégia com alta relação custo-benefício, que pode restaurar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em paisagens onde ainda existam remanescentes florestais, e que pode prover renda aos produtores rurais (Brancalion et al., 2012; Ceccon, 2013; Evans et al., 2015; Chazdon e Uriarte, 2016). Adicionalmente, alguns autores sugerem o desenvolvimento de estudos acerca dos fatores biofísicos e socioeconômicos relacionados à regeneração natural para que seu potencial possa ser melhor aproveitado. Uma vez identificados, esses fatores podem ser manipulados para favorecer a regeneração natural em larga escala (Crk et al., 2009; Aide et al., 2013; Müller et al., 2016; Arroyo-Rodríguez et al., 2017; Molin et al., 2017).

Algumas pesquisas apontam que os fatores biofísicos e socioeconômicos associados à aptidão agrícola têm uma grande influência na ocorrência de eventos de regeneração florestal em regiões tropicais e subtropicais do planeta; fatores como a declividade, a proximidade aos cursos d'água, às estradas e aos centros populacionais, podem restringir ou motivar a mudança do uso do solo e explicar os padrões de abandono de terras em larga escala e que podem conduzir à regeneração natural (e.g. Silva et al., 2007; De Rezende et al., 2015; Sloan, 2015). Outras pesquisas apontam que as características socioeconômicas dos proprietários da terra, num determinado contexto social, político e econômico, podem influenciar a demanda de terra para usos agrícolas e os processos de migração da população, determinado assim os locais onde a regeneração florestal acontece (e.g. Grau e Aide, 2008; Bakker e Van Doorn, 2009; Yackulic et al., 2011; Aide et al., 2013; Newman et al., 2014). Por outro lado, o uso de dados pouco detalhados em estudos que abrangem uma área geográfica ampla, pode levar a conclusões gerais sobre os fatores biofísicos e socioeconômicos que influenciam as mudanças do uso do solo que levam à regeneração florestal (Etter et al., 2006; Van et al., 2015). Esses estudos são importantes para levantar a questão em termos de políticas públicas e para auxiliar a escolha das áreas mais propensas ao aumento da cobertura florestal em larga escala. No entanto, devem ser complementados com dados mais detalhados obtidos no nível local, que forneçam informação mais precisa sobre efeito desses fatores nas escolhas realizadas pelos proprietários da terra (Holl, 2017).

Nesse sentido, esta pesquisa teve por objetivo compreender e descrever a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos nas mudanças do uso do solo que levaram à regeneração florestal, numa paisagem rural da região sudeste do Brasil entre os anos 1995 e 2018. A principal motivação desta pesquisa foi gerar informação detalhada que contribua ao desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração, que estejam associados adequadamente ao contexto biofísico e socioeconômico onde potencialmente poderiam ser utilizados.

3.2. Metodologia

3.2.1. Área de estudo

A paisagem rural escolhida para este estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Corumbataí, no estado de São Paulo, sudeste do Brasil. A bacia abrange uma área de 1.700 km² e uma variação de altitude que varia de 470 a 1.058 m. O clima é tropical, seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e precipitação média anual igual a 1.390 mm. A topografia varia de plana a escarpada, com uma maior porcentagem de áreas fortemente inclinadas no noroeste da bacia (Valente, 2001). As pastagens para a criação de bovinos de corte e de leite se concentram majoritariamente no norte e oeste da bacia e ocupam 44% da área, e a monocultura da cana-de-açúcar se concentra principalmente no sul e leste da bacia, abrangendo 29% da área. O restante da área está ocupado pelas plantações florestais, as florestas nativas e outras coberturas (Valente e Vettorazzi, 2003).

Breve história do território

A bacia hidrográfica do rio Corumbataí no passado foi coberta na sua totalidade pela Floresta Estacional Semidecidual (Oliveira-Filho e Fontes, 2000), distribuída tanto em áreas pertencentes ao bioma Cerrado como Mata Atlântica, dois hotspots globais para a conservação da biodiversidade (Myers et al., 2000). Historicamente, o desmatamento da bacia começou a partir da metade do século XVIII, com a concessão de sesmarias por parte da coroa portuguesa a famílias influentes que se apresentassem com os recursos econômicos suficientes, incluindo mão de obra escrava, para explorar os recursos florestais, cultivar as terras, povoá-las e desenvolvê-las (Warren, 1977; Figura 3). Na época, a exploração dos recursos florestais foi acompanhada da lavoura da cana-de-açúcar para a produção de aguardente e açúcar, sendo o Rio Corumbataí o principal meio de transporte das árvores até a chegada à região da Estrada de Ferro Ituana no final do século XIX. No primeiro semestre de 1900, por exemplo, foram transportadas pela estrada de ferro 314 toneladas de madeira de espécies nativas (Dorizotto, 2017).

A final do século XVIII, a cana-de-açúcar tornou-se a lavoura mais lucrativa na região, principalmente nas fazendas formadas pela divisão das antigas sesmarias localizadas no sul e leste da bacia, onde foram estabelecidos pequenos engenhos (García, 2000; Dorizotto, 2017). A chegada da Estrada de Ferro Ituana e o estabelecimento dos engenhos motivaram fortes transformações na paisagem agrícola, onde os eucaliptos começaram a ser facilmente notados. O eucalipto era plantado e vendido à Companhia Ituana de Estrada de Ferro que necessitava de lenha, dormentes, postes e moirões (Foelkel, 2005). A lenha de eucalipto também era utilizada nas caldeiras dos engenhos para a elaboração do açúcar batido e aguardente (Borda-Niño, informação pessoal).

A partir da metade do século XIX, a lavoura de cana diminui drasticamente cedendo lugar à lavoura do café, que rapidamente se espalhou em toda a região (García, 2000; Dorizotto, 2017). A demanda mundial de café era bem mais acentuada do que do açúcar e a sua cultura exigia menos mão de obra (Warren, 1977). No final do século XIX, em resposta aos conflitos geopolíticos na Europa e às facilidades impostas pela coroa portuguesa para a imigração de trabalhadores europeus,

muitas famílias de imigrantes, principalmente italianos, chegaram à região e começaram a trabalhar como colonos nas fazendas dedicadas à produção de café (Dorizotto, 2017). O trabalho assalariado de europeus veio suprir a necessidade de mão de obra gerada depois a abolição da escravidão no Brasil em 1888 (Warren, 1977). No começo do século XX, como resultado da Grande Depressão de 1929 sofrida pelos Estados Unidos, o maior comprador do café brasileiro na época, a importação do café diminuiu e os preços caíram (Gazier, 2011). Como consequência, as grandes fazendas dedicadas à produção de café na região da bacia faliram e foram subdivididas em pequenas propriedades administradas por colonos e escravos libertos, dedicadas à produção de milho, arroz, hortaliças, algodão, fumo, cana-de-açúcar, bicho-da-seda, leite, mel e tijolos (Dorizotto, 2017). No Município de Corumbataí, no norte da bacia, por exemplo, com o estabelecimento do Núcleo Colonial do Dr. Jorge Tibiriçá a partir de 1904, antigas fazendas dessa região foram subdivididas em propriedades de 24 hectares que foram vendidas aos descendentes dos imigrantes europeus. Os conhecimentos trazidos pelas famílias de imigrantes foram, sem dúvida, fundamentais para a diversificação das culturas nesta época (Prefeitura Municipal de Corumbataí, 2017).

As plantações de eucalipto continuaram formando parte da paisagem na bacia, agora sendo usados pelos agricultores para o aproveitamento da madeira como lenha, postes, moirões de cerca, entre outros usos (Borda-Niño, informação pessoal). Programas governamentais, como o do presidente Getúlio Vargas a partir de 1934, também incentivaram a plantação de eucaliptos em brejais da bacia, para secar o terreno e evitar a proliferação do mosquito transmissor da malária (Dorizotto, 2017). Neste mesmo ano, em resposta ao desmatamento ocasionado pela produção de café e criação de gado em outras regiões do Brasil, foi criado ainda sob o governo do presidente Vargas o primeiro Código Florestal Brasileiro (Decreto Federal nº 23.793; CF), que estabeleceu as normas relativas à preservação de florestas nativas. Entre outras medidas, o código obrigava aos proprietários de terras cobertas por matas a preservar 25% da sua área com mata nativa, e definiu o conceito de florestas protetoras de porções da paisagem com papel ambiental importante, como as margens dos rios e as nascentes (Klein, 2015; Brancalion et al., 2016). Após 30 anos, a Lei nº 4.771, de 1965, criou uma nova versão do CF mais efetiva e objetiva, que exigiu aos proprietários rurais conservar uma porcentagem de vegetação nativa em suas propriedades como a Reserva Legal (RL), que deveria ocupar na região 20%. A lei também definiu as Áreas de Preservação Permanente (APPs) visando conservar os recursos hídricos e evitar a erosão do solo. As APPs incluíam os sistemas ribeirinhos, encostas íngremes ($>45^\circ$), os topos de morro e altitudes superiores a 1800 metros (Brancalion et al., 2016).

Em 1966 foi desmantelada a rede ferroviária na bacia do rio Corumbataí dificultando a comercialização dos produtos agrícolas fora da região (Dorizotto, 2017). Nessa mesma época, o auge da industrialização no estado de São Paulo (Suzigan, 1971) e o surgimento de normas reguladoras do trabalho rural no Brasil em 1973, significaram para a região o êxodo rural e a diminuição da produção agrícola em pequena escala (Dorizotto, 2017). A partir da metade do século XX, com o surgimento do Plano Nacional do Alcool (1975), a cana-de-açúcar virou a monocultura regional (Ramos, 2008). Este plano foi criado pelo governo brasileiro com o objetivo de enfrentar a crise do petróleo de 1973 e estimular a produção de álcool combustível para substituir o consumo de gasolina.

Nesta época o governo forneceu incentivos para os produtores de cana-de-açúcar e para que as indústrias automobilísticas desenvolvessem carros movidos a etanol (Ramos, 2008). Como resultado, a lavoura de cana-de-açúcar se espalhou novamente pelo sul e leste da bacia, acompanhada do aparecimento de grandes engenhos e usinas, e do uso de tratores que já eram visíveis na paisagem desde 1950 (Dorizotto, 2017). Nesta época, o eucalipto continuava sendo a principal fonte de energia para o funcionamento das caldeiras (Borda-Niño, informação pessoal). No entanto, a partir de 1980, com a utilização do bagaço resultante da moagem da cana, os engenhos e usinas tornaram-se auto-suficientes em termos energéticos (Gallo, 2015) e foram abandonadas muitas das plantações de eucalipto originalmente estabelecidas dentro das propriedades rurais. No norte e oeste da bacia, em áreas não aptas para a produção de cana-de-açúcar, manteve-se certa diversificação de culturas agrícolas, junto com áreas de pastagem dedicadas à produção de leite e gado de corte (Prefeitura Municipal de Corumbataí, 2017).

Em nível nacional, a década de 1990 foi muito movimentada em termos de legislação ambiental. Em 1998 foi criada a Lei nº 9.605, comumente chamada “lei de crimes ambientais”, com o intuito de punir os donos das propriedades que estivessem em discordância com as normas do CF de 1965. A possibilidade de criminalização motivou a formulação de uma lei que substituísse o CF de 1965. A lei foi impulsionada por um movimento político que representavam os produtores rurais no governo (Brancaion et al., 2016). Nos anos seguintes esse movimento ganhou força, sendo que em 2009 se formou uma Comissão Especial na Câmara dos Deputados, com o objetivo de reformular um novo CF (Senado Federal, 2011). A partir da década de 1990 também foram estabelecidas as primeiras regulamentações que estabeleceram a colheita da cana sem queima, atividade anteriormente praticada para facilitar a colheita manual da cana-de-açúcar. Até então, a palha era queimada no campo para facilitar o corte manual da cana. Em 2007 o Governo de São Paulo assinou um protocolo que promoveu a antecipação do marco legal que determina as metas para a mecanização e estabeleceu os anos de 2014 e 2017 como limite para a mecanização da colheita e a extinção da queimada das plantações de cana-de-açúcar para facilitar a colheita manual, em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis (declive <12% e >12%), respectivamente (Gallo, 2015).

Em 2012 foi aprovada a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.727), que revogou e substituiu o CF de 1965. A lei abrangeu todo ecossistema terrestre nativo e diferenciou os conceitos de restauração e conservação, sendo que as áreas de RL e sistemas ribeirinhos desmatados antes de 2008 não precisavam ser restaurados com vegetação nativa, como indicava o CF de 1965. Outras modificações incluíram a condenação dos passivos de RL em propriedades pequenas (<20 hectares no sul do Brasil) e da inclusão dos sistemas ribeirinhos no cálculo da RL. Juntas essas modificações diminuíram a área total a ser restaurada no país de 50 ± 6 para 21 ± 1 Mha (Soares-Filho et al., 2014). Atualmente, na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, continuam predominando as atividades agropecuárias. No entanto, algumas áreas da bacia apresentaram um aumento da cobertura florestal nos últimos anos. Ferraz et al., (2014) mapearam a dinâmica da cobertura florestal na bacia e encontraram um aumento de 8 a 16% da cobertura florestal entre os anos de 1960 a 2008, resultado da regeneração natural.

Figura 3. Breve história de uso do território na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

3.2.2. Métodos

Como estratégia de coleta e análise de dados foi utilizado o delineamento observacional – transversal. Este tipo de delineamento está baseado na observação de eventos que acontecem naturalmente sem intervenção do pesquisador e pode ser utilizado para descrever a influência de um conjunto de variáveis no evento observado sem foco na causalidade (Newing, 2010). Neste estudo, a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na área de estudo foi descrita utilizando um Modelo Lineal Generalizado Misto (MLGM). Este modelo admite a inclusão de uma variável de resposta binária (regeneração florestal versus ausência de regeneração florestal), para a qual a probabilidade de ocorrência situa-se entre 0 e 1, e um conjunto de variáveis preditivas fixas e aleatórias (Harrison et al., 2018).

3.2.2.1. Variável resposta

A partir da interpretação visual de imagens do satélite WorldView 1 (tamanho do pixel: 3 m) e fotografias aéreas (pancromáticas a uma escala de 1:25.000), foram elaborados mapas temáticos de cinco paisagens focais classificados como “com floresta”/“sem floresta”, a uma escala de 1:10.000, de 3.600 hectares cada uma, dentro da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, para os anos de 1995 e 2018. O procedimento adotado para a definição do tamanho e da localização das paisagens, bem como a metodologia utilizada para a realização dos mapas temáticos, estão detalhados em Ferraz et al., (2014). Neste estudo, o tamanho das paisagens adotado foi um pouco superior ao mínimo requerido para representar de forma adequada a variedade de usos do solo presentes na bacia. A localização foi definida de forma aleatória levando em consideração os usos de solo predominantes (cana-de-açúcar e pastagem): duas paisagens foram localizadas no norte da bacia com predominância de pastagens e três no sul, com predominância de cana-de-açúcar (Figura 4).

Figura 4. Paisagens focais (de 3.600 hectares cada um) dentro da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil. No norte e oeste da bacia se concentram as pastagens, e no sul e leste a monocultura da cana-de-açúcar.

A floresta foi definida como uma área maior que 0,15 hectares e com 75% ou mais de cobertura florestal, determinada pela presença de árvores e arbustos e a ausência de outras coberturas do solo predominantes identificadas previamente: cana-de-açúcar, citricultura, silvicultura, pastagem, áreas urbanas, instalações rurais, solo exposto, corpos d'água e outras coberturas. Dentro da categoria de floresta, também foram consideradas as florestas secundárias regeneradas após a colheita do eucalipto, que contêm ainda muitos indivíduos de eucalipto de grande porte que rebrotaram após a colheita (César et al., 2018). Cada mapa temático foi combinado com o mapa temático do ano subsequente em ArcGis 10.5, para evidenciar as áreas onde houve regeneração florestal (i.e. mudança da classificação não floresta para floresta) entre os anos 1995 e 2018. Os mapas não incluíram áreas de pousio considerando que, nas paisagens focais, o tempo em que as terras são deixadas sem semeadura não ultrapassa os três anos (Borda-Niño, informação pessoal).

3.2.2.2. Variáveis preditivas

Variáveis biofísicas

As variáveis biofísicas são aquelas que determinam onde as mudanças na cobertura florestal têm mais chance de acontecer (Mitsuda e Ito, 2011). A seleção das variáveis biofísicas foi guiada pelos modelos conceituais apontados por Geist e Lambin, (2001) e Mitsuda e Ito, (2011). Adicionalmente, foi considerado o conhecimento prévio da área de estudo e a literatura existente sobre a regeneração florestal na bacia hidrográfica do rio Corumbataí (i.e. Ferraz et al., 2014; Molin et al., 2017). As variáveis biofísicas incluíram os mapas de altitude, de declividade, do Índice de Posição Topográfica, da distância euclidiana aos cursos d'água e da distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta presentes no mapa temático das cinco paisagens focais "com floresta"/"sem floresta" de 1995 (Tabela 5).

Variáveis socioeconômicas

As variáveis socioeconômicas são aquelas que motivam as ações humanas responsáveis das mudanças na cobertura florestal (Mitsuda e Ito, 2011). A informação socioeconômica associada à propriedade rural e seu proprietário foi obtida através de um Survey social, no qual a propriedade rural foi escolhida como unidade de estudo. Muitas das decisões que os proprietários adotam em função das características biofísicas do seu entorno, e que levam à regeneração florestal, são visíveis unicamente no nível de propriedade (Lambin, 2004). Por sua vez, dentro da propriedade rural existe uma fronteira florestal interna influenciada pelas decisões que os proprietários adotam em relação ao uso da floresta e, por tanto, a intensificação agrícola e a regeneração florestal podem ser consideradas dentro do contexto dos seus limites (Walsh et al., 2008).

O Survey social é um tipo de pesquisa que permite descrever aspectos de uma população a partir de uma amostra (Floyd e Fowler, 2009). Neste estudo, o Survey social implicou a realização de uma amostragem probabilística e da coleta de dados socioeconômicos. Para isto, foi considerado uma sub-paisagem focal (de 1.600 hectares cada um) dentro das paisagens focais utilizadas originalmente no levantamento da variável resposta. Dentro e em contato com os limites das cinco sub-paisagens focais foi estabelecida uma população acessível de 359 propriedades rurais que variaram em tamanho de 0,19 a 1.385 hectares e abrangeram em conjunto uma área de 11.314,4 hectares. Os limites das propriedades foram estabelecidos a partir dos mapas das propriedades rurais do Estado de São Paulo, disponíveis na plataforma online do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural do Brasil. Devido à heterogeneidade no tamanho das propriedades rurais foi realizada uma amostragem aleatória estratificada, onde os estratos corresponderam a categorias de tamanho, definidas utilizando o método de classificação de Quebras Naturais em ArcGis 10.5. Este método está baseado no agrupamento inerente aos dados, onde as quebras agrupam valores similares maximizando a diferença entre classes (Smith et al., 2007). A amostra foi definida para cada categoria de tamanho considerando o número mínimo requerido para uma confiabilidade de 95% (Saunders, 2007). Como resultado desse processo, foi definida uma amostra de 252 propriedades rurais (que abrangeram em conjunto 11.090,5 hectares), das quais foram amostradas com sucesso 96 propriedades (38%) pertencentes a 65 proprietários. Nessas propriedades, 47 proprietários de 70 propriedades rurais (que abrangeram em conjunto 2695,5 hectares) foram identificados como elegíveis para este estudo por serem possuidores da terra por pelo menos 13 anos (mais da metade do tempo de estudo entre 1995 e 2018). O anterior garantiu que a informação socioeconômica obtida fosse representativa da gestão da terra durante o período de este estudo.

A coleta de dados se realizou entre agosto de 2017 e março de 2018 utilizando um protocolo preenchido pelo pesquisador principal durante as entrevistas semiestruturadas presenciais realizadas aos proprietários no local indicado por eles. Anteriormente à coleta de dados, foi realizado um estudo piloto em junho de 2017, com quatro proprietários rurais da área de estudo e três pesquisadores da área de ciências sociais. Baseado no estudo piloto, foi adequado o protocolo de entrevista utilizado durante a coleta de dados (**Apêndice 1**). Originalmente, o protocolo foi dividido em três seções. Na primeira seção foram realizadas perguntas sobre as características socioeconômicas associadas ao proprietário e a propriedade rural, na segunda sobre a história de

uso da propriedade, e na terceira seção foram realizadas perguntas sobre a percepção do proprietário sobre as florestas que regeneraram naturalmente na sua propriedade. Neste estudo foram consideradas principalmente as respostas das duas primeiras seções.

Quando um proprietário possuía mais de uma propriedade rural da amostra, foi preenchido um protocolo adicional por propriedade. Quando a propriedade rural tinha mais de um dono (e.g. propriedade de vários irmãos ou do casal), foi entrevistado o proprietário disposto a responder as perguntas do protocolo, ou a aquele que, indicado por os outros proprietários, conhecia com detalhe o histórico do uso e/ou administrava a propriedade na época da entrevista. Adicional ao Survey social, foram consultadas fontes de dados secundárias para obter informação socioeconômica relativa à acessibilidade da propriedade aos centros de comercialização e venda dos produtos agrícolas, especificamente, à proximidade a estradas e áreas urbanas. Essa informação foi espacialmente explícita em um mapa que continha informação socioeconômica associada à propriedade rural e seu proprietário (Tabela 5; **Apêndice 2**).

Tabela 5. Variáveis preditivas para analisar a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

<i>Variáveis biofísicas</i>	<i>Fonte de dados</i>
Altitude (m)	Curvas de nível (5 m) em cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo.
Declividade (graus)	
Índice de Posição Topográfica	
Distância euclidiana aos cursos d'água (m)	Mapa de corpos d'água (1:10.000) do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo.
Distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta (m)	Mapas temáticos floresta/não floresta de 1995.
<i>Variáveis socioeconômicas</i>	
<i>Associadas ao proprietário</i>	Survey social
– O proprietário mora na propriedade rural atualmente?	
– Nível educativo	
– Idade	
– O proprietário desenvolve alguma atividade agrícola na propriedade rural?	
– O proprietário incorpora mão de obra familiar nas atividades agrícolas desenvolvidas por ele na propriedade rural?	
– Número de propriedades rurais pertencentes ao proprietário	
– Renda total anual (salários mínimos)	
– Nível de dependência econômica da propriedade rural (%)	
– Número de fontes de renda distintas à aquela derivada de atividades na propriedade rural	
<i>Associadas à propriedade rural</i>	
– Tamanho da propriedade (ha)	
– Desde que ano o proprietário é dono da propriedade?	
– Número de pessoas que residem na propriedade	
– Número de cabeças de gado por hectare na propriedade	
– Número de diferentes coberturas presentes na propriedade	
– Principal produto agrícola produzido na propriedade que é vendido	
– Ocorrência de mudanças drásticas nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade durante o tempo em que o proprietário leva sendo o dono?	
– Distância euclidiana a estradas (m)	Mapa de estradas pavimentadas e não pavimentadas (1:50.000) do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo.
– Distância euclidiana a áreas urbanas (m)	Mapa dos municípios de Brasil (2010) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

3.2.2.3. Extração dos dados e desenvolvimentos do Modelo Linear Generalizado Misto

Com o intuito de selecionar no espaço geográfico pontos de amostragem independentes para a extração dos valores da variável de resposta e variáveis preditivas, foi calculado o índice de Moran sobre o mapa de declividade (Mitchel, 2005). A declividade é um dos fatores que define a aptidão agrícola do local e está funcionalmente associada à tomada de decisão pelo proprietário em relação ao uso do solo, e portanto, às chances de uma área ser abandonada e ter a oportunidade de regenerar (Arroyo-Rodríguez et al., 2017). Como resultados deste processo foram gerados 1.751 pontos de amostragem, separados entre si por 150 m, na área compreendida pelas 70 propriedades rurais amostradas no *Survey* social. Em cada ponto de amostragem foi extraído o valor da variável de resposta contida no mapa de regeneração florestal (i.e. regeneração florestal versus ausência de regeneração florestal), e os valores das variáveis preditivas contidas nos mapas biofísicos e no mapa com a informação socioeconômica associada à propriedade rural e ao seu proprietário. Tanto o cálculo do índice de Moran como a agregação de mapas para a extração de dados nos pontos de amostragem foram realizados em R (R Core Team, 2018).

A influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na área de estudo, foi descrita utilizando um MLGM. No modelo global foram utilizadas unicamente aquelas variáveis preditivas com coeficientes de correlação <0.5 segundo o Índice de Pearson (**Apêndice 3**; Midi et al., 2010), sendo que para cada par de variáveis que mostraram uma alta correlação, foi mantida aquela com maior relevância para explicar a regeneração florestal com base no conhecimento prévio da área de estudo e informação bibliográfica (Tabela 6). Estas variáveis preditivas não correlacionadas foram consideradas os fatores fixos no MLGM, enquanto a identidade (Id) do proprietário, Id da propriedade rural e Id da sub-paisagem focal foram definidos como fatores aleatórios, para modelar explicitamente a não independência entre unidades observacionais (Harrison et al., 2018). Neste estudo, a não independência é decorrente da chance de selecionar mais de um ponto de amostragem por propriedade rural, ou da chance de um proprietário possuir mais de uma propriedade rural amostrada. Em ambas as situações, os pontos de amostragem terão o mesmo valor das variáveis socioeconômicas associadas ao proprietário. A partir deste modelo global, e para determinar o conjunto de variáveis explicativas que constituiriam o modelo final mais parcimonioso, foi realizada uma seleção automatizada de modelos (Barton, 2013).

Os modelos gerados, cada um com o menor número de variáveis independentes possíveis, foram comparados com base no critério de informação de Akaike de segundo ordem (AICc). O modelo escolhido foi aquele com o valor mais baixo de AICc. Para avaliar o desempenho do melhor modelo, foi calculada a área sob a curva (AUC) da Característica de Operação do Receptor (ROC pelas siglas em inglês; Swets, 1988). Para isso, foi gerado um mapa de probabilidade de regeneração florestal substituindo as variáveis independentes do melhor modelo na equação de probabilidade (1), o qual foi comparado com o mapa de regeneração florestal real entre 1995 e 2018 (i.e. mapa com a variável de resposta: regeneração florestal v.s. ausência de regeneração florestal), a fim de avaliar sua coincidência (Hosmer e Lemeshow, 2000; Mas et al., 2013). De acordo com Hosmer e Lemeshow, (2000), um valor de AUC acima de 0,7 descreve um modelo com um desempenho

aceitável, entre 0,8 e 0,9 denota um desempenho excelente e um valor de 1 indica perfeita concordância entre o mapa de probabilidade e o mapa dos eventos reais. Tanto o cálculo do Índice de Pearson, como o MLGM e a análise da AUC, foram realizados em R (R Core Team, 2018).

$$P = \frac{[\exp (\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_n X_n)]}{[1 + \exp (\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \beta_n X_n)]} \quad (1)$$

Onde P é a probabilidade de que a regeneração florestal ocorra em um determinado local, β_n é o coeficiente estimado da variável independente X_n e α é o intercepto.

Tabela 6. Variáveis preditivas não correlacionadas (Pearson ≤ 0.5) utilizadas no Modelo Linear Geral Misto (MLGM) para analisar a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

<i>Variáveis biofísicas</i>	
Altitude (m)	
Declividade (graus)	
Índice de Posição Topográfica	
Distância euclidiana aos cursos d'água (m)	
Distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta (m)	
<i>Variáveis socioeconômicas</i>	
<i>Associadas ao proprietário</i>	
–	Nível de dependência econômica da propriedade rural (%)
–	Número de fontes de renda distintas à aquela derivada de atividades na propriedade rural
<i>Associadas à propriedade rural</i>	
–	Tamanho da propriedade (ha)
–	Desde que ano o proprietário é dono da propriedade?
–	Número de pessoas que residem na propriedade
–	Número de diferentes coberturas presentes na propriedade
–	Principal produto agrícola produzido na propriedade que é vendido
–	Distância euclidiana a estradas (m)

3.3. Resultados

A interpretação dos insumos de sensoriamento remoto indicou que entre os anos de 1995 e 2018 houve um aumento da cobertura florestal equivalente a 7,7% na área abrangida pelas 70 propriedades amostradas na área de estudo (2.695,5 hectares). As principais mudanças na cobertura do solo que levaram à regeneração florestal foram a diminuição na área coberta por pastagens (54,5%) e cana-de-açúcar (37,2%; Figura 5) nas áreas regeneradas.

Figura 5. Regeneração florestal entre os anos de 1995 e 2018 a partir das diferentes coberturas do solo presentes em 1995 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

3.3.1. Survey social: resultados gerais

Características socioeconômicas associadas ao proprietário: a maioria dos 47 proprietários entrevistados foram homens (85%) e com idade entre 30 a 95 anos (média = 68,6 anos). O nível de escolaridade foi baixo, já que um pouco mais da metade não tinha concluído o ensino fundamental (53%). Pouco mais de um terço do total de proprietários (36%) morava na propriedade rural na época da entrevista, embora a metade (51%) disse que realizava diretamente alguma atividade produtiva nela. Os demais proprietários terceirizavam a produção ou não realizavam nenhuma atividade produtiva na propriedade (42 e 7%, repetitivamente). As atividades desenvolvidas pelos proprietários incluíram desde o cultivo de produtos para o consumo da própria família, até o cultivo do principal produto gerador de renda. A mão de obra familiar foi um elemento importante, uma vez que 63% dos proprietários que realizavam diretamente alguma atividade contemplavam este tipo de força de trabalho. Em relação à renda, 57% dos proprietários disseram serem donos de mais de uma propriedade rural dentro ou fora da região da área de estudo, e um pouco mais da metade (55%) de ter uma fonte de renda distinta à propriedade. A dependência econômica do proprietário pela propriedade foi moderadamente alta, uma vez que 45% dos proprietários dependem de entre 50 a 100% da renda gerada pelas atividades agrícolas na sua propriedade rural.

Características socioeconômicas associadas à propriedade rural: das 70 propriedades rurais amostradas, aquelas com mais de 100 hectares, que em número representaram apenas 13%, ocuparam mais de um terço (44%) da área total das propriedades. As demais, com menos de 100 hectares, ocuparam apenas pouco mais da metade (56%) da área total. A respeito do gerenciamento da terra, cerca de 70% das propriedades rurais foram administradas pelo próprio dono a mais de 30 anos, embora em um pouco mais da metade das propriedades não morava nenhuma pessoa na época da entrevista. O coeficiente de correlação de Pearson mostrou certa relação positiva entre o tempo de gerenciamento e a chance de alguma mudança drástica nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade rural (Pearson $r = 0,6$; $P < 0,05$; **Apêndice 3**).

Em relação aos usos do solo, a maioria das propriedades rurais foi destinada principalmente à produção de cana-de-açúcar (46%), gado de corte (19%) e de leite (9%). Apenas 4% das propriedades rurais foram consideradas pelos seus donos como improdutivas ou abandonadas. Em relação à taxa de lotação das propriedades rurais com produção pecuária, em 84% foram mantidas <2 cabeças de gado por hectare. A produção de cana se concentrou no sul da bacia, enquanto que as pastagens para produção pecuária e o cultivo de hortaliças se concentraram no norte. Por fim, em um pouco mais de 70% delas foram mantidas até três tipos de coberturas distintas, entre elas, culturas permanentes, culturas temporárias, terras em descanso (ou pousio), pastagens, florestas naturais, florestas para fins de adequação ambiental e plantações comerciais de árvores.

3.3.2. Fatores biofísicos e socioeconômicos que influem na regeneração florestal

Na Tabela 7 é apresentado o MLGM que descreve a influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos, esses últimos associados ao proprietário e à propriedade rural, na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na área de estudo. O modelo teve um valor de AUC de 0,72, o que indicou um alto grau de concordância espacial entre mapa de probabilidade de regeneração florestal e o mapa de regeneração florestal real entre 1995 e 2018 (Figura 6; **Apêndice 4**).

Tabela 7. Influência dos fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil. O asterisco (*) indica um valor de $P < 0,05$. $n = 1.751$ pontos de amostragem.

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Valor de Z	Pr (> z)
Intercepto	-0.29400	0.16639	-1.767	0.07723
Variáveis biofísicas				
Altitude (m)	-0.36229	0.16140	-2.245	0.02479 *
Declividade (graus)	0.33262	0.06671	4.986	6.17 e-07 *
Índice de Posição Topográfica	-0.10333	0.06143	-1.682	0.09257
Distância euclidiana aos cursos d'água (m)	-0.30431	0.10409	-2.924	0.00346 *
Distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta (m)	-1.20058	0.10464	-11.473	<2 e-16 *
Variáveis socioeconômicas				
<i>Associadas ao proprietário</i>				
Nível de dependência econômica da propriedade rural (%)	-0.27535	0.12260	-2.246	0.02471 *
<i>Associadas à propriedade rural</i>				
Número de pessoas que residem na propriedade	-0.26194	0.15484	-1.692	0.09070
Número de diferentes coberturas presentes na propriedade	0.32728	0.16415	1.994	0.04617 *
Efeitos aleatórios				
	Variância		Desvio padrão	
Id do proprietário	0.0009246		0.03041	
Id da propriedade rural	0.62126		0.7882	
Id da sub-paisagem focal	0.01517		0.1232

Figura 6. A) Distribuição das sub-paisagens focais dentro da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil. B) Regeneração florestal real entre 1995 e 2018 nos cinco sub-paisagens focais. C) Probabilidade de regeneração florestal entre 1995 e 2018 nos cinco sub-paisagens focais, calculada a partir das variáveis independentes do melhor modelo.

Os principais fatores biofísicos que influíram na regeneração florestal foram a distância à bordadura dos fragmentos de floresta, a declividade, a distância aos cursos d'água e a altitude. O Índice de Posição Topográfica teve um efeito marginalmente significativo, no entanto, sua inclusão no modelo sugere a importância da posição topográfica na chance de uma área apresentar regeneração florestal. O Índice representa a posição topográfica num continuum onde os valores positivos indicam locais que são mais elevados que seu entorno (como as cristas e os topos das montanhas), os

valores negativos representam os locais mais rebaixados em relação à sua vizinhança (depressões do relevo) e valores próximos a zero representam as superfícies planas. Nesse sentido, entre os anos de 1995 e 2018 a regeneração foi mais frequente em áreas íngremes a baixas altitudes, próximas aos fragmentos de floresta e cursos d'água, e foi favorecida em depressões do relevo, representadas na área de estudo principalmente por ravinas ao longo dos cursos d'água.

O principal fator socioeconômico a nível de proprietário que influenciou a regeneração florestal foi o a dependência econômica da propriedade rural. Já em nível de propriedade, os fatores socioeconômicos mais importantes incluíram o número de diferentes coberturas e de pessoas residentes, no entanto, este último teve um efeito marginalmente significativo. Assim, entre os anos de 1995 e 2018 a regeneração florestal foi mais frequente em propriedades rurais com elevada heterogeneidade de cobertura do solo, com poucos residentes e pertencentes a proprietários com uma baixa dependência econômica da renda gerada pelas atividades produtivas realizadas na propriedade.

3.4. Discussão

A regeneração florestal foi essencialmente influenciada por uma combinação de fatores biofísicos associados à aptidão agrícola do solo. De acordo com este grupo de fatores, a regeneração florestal observada entre 1995 e 2018 na área de estudo foi mais frequente a baixas altitudes, em encostas íngremes da bacia e em depressões do relevo, representadas na área de estudo principalmente por ravinas ao longo dos cursos d'água. A partir da década de 1950, com a introdução dos tratores e maquinaria agrícola na região, as características biofísicas da paisagem e particularmente a declividade, tornaram algumas áreas mais atraentes do que outras para a agricultura (Dorizotto, 2017). Certamente, a regeneração florestal nas áreas antigamente destinadas à produção pecuária, concentradas principalmente no norte da bacia, pôde ter relação com as limitantes impostas pela declividade no preparo do solo e na semeadura de pastagem, mas também com o dinamismo que caracteriza a pecuária extensiva praticada na área de estudo (pouca mão de obra, envelhecimento dos produtores rurais e migração das novas gerações para as cidades, e pouco gasto com fertilizantes para a manutenção de <2 cabeças de gado por hectare). Neste contexto, a regeneração de florestas em áreas de pastagem abandonadas é frequente, principalmente em encostas íngremes, e a conversão de pastagem a outros usos pode acontecer, dependendo do contexto econômico do momento (Ferraz et al., 2014; Molin et al., 2017).

O dinamismo que caracteriza a pecuária extensiva possivelmente foi reforçado pelas mudanças nos preços dos produtos pecuários no mercado, ou pelas tendências regionais de concentração da produção pecuária em áreas com condições biofísicas mais favoráveis, como as extensas unidades de produção pecuária nas regiões centro-oeste e norte do país. A desregulamentação da produção e comercialização do leite por parte do governo federal, por exemplo, criou a partir de 1991, altos níveis de instabilidade nos preços, afetando principalmente aos pequenos produtores de todo o Brasil, quem foram motivados a diminuir e abandonar as áreas de pastagem (Siqueira et al., 2010). Por sua vez, nos períodos de 1995-2006 e 2007-2017 a média do efetivo de rebanhos na mesorregião à qual pertence a área de estudo foi de 301.815 e 292.778

cabeças de gado, respectivamente, resultando em um declínio do 5%, enquanto em mesorregiões mais competitivas dos estados vizinhos de Minas Gerais e Goiás, houve no mesmo período um incremento de entre 20 a 23% (IBGE, 2017a). Dado que a pecuária extensiva é um dos sistemas de produção menos eficientes na área de estudo (Strassburg et al., 2014), as políticas do uso do solo poderiam favorecer a intensificação da produção pecuária e a regeneração florestal em áreas não aptas, ou promover outros usos do solo mais rentáveis (McAlpine et al., 2009).

Nas áreas destinadas à produção de cana-de-açúcar, concentradas principalmente no sul da bacia, a declividade provavelmente teve um papel mais relevante quando comparado com as áreas destinadas à produção pecuária. A partir da década de 1990 e em resposta às primeiras regulamentações que estabeleceram a colheita da cana-de-açúcar sem queima, a produção de cana-de-açúcar no Brasil tornou-se extensivamente mecanizada (Jasinski et al., 2005; Rudorff et al., 2010). No estado de São Paulo, por exemplo, a colheita mecanizada aumentou de cerca de 33% da área total colhida na safra 2007/2008 para 96% na safra 2016/2017 (Conab, 2017). A mecanização limitou a produção às áreas onde máquinas eram manejáveis, dando lugar a formações florestais nas áreas íngremes em algumas paisagens rurais do estado (Ferraz et al., 2014; Molin et al., 2017). É interessante destacar que a mecanização da produção da cana-de-açúcar em países como o Brasil tem gerado o declínio do custo desta mercadoria, provocando a diminuição ou inclusive o abandono de áreas agrícolas voltadas à sua produção em outros países tropicais (Mitchell, 2006; Kennaway e Helmer, 2007).

Um segundo grupo de fatores biofísicos que influenciou a regeneração esteve relacionado com o processo sucessional que leva à regeneração florestal e com a implementação de normativas ambientais. Conforme este grupo de fatores, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas próximas aos fragmentos de floresta e cursos d'água. Os fragmentos de floresta presentes na paisagem provavelmente atuaram como fonte de propágulos e refúgio para a fauna dispersora de sementes, aumentando as chances de chegada de propágulos às áreas próximas abandonadas (Chazdon, 2014). A forte associação entre a regeneração florestal e os fragmentos de floresta encontrada neste estudo suportam a ideia de que a recuperação das florestas tropicais depende grandemente da distribuição espacial dos remanescentes de vegetação nativa na paisagem (Helmer, 2000). O efeito positivo da proximidade a cursos d'água possivelmente esteve relacionado com a normatividade, uma vez que no Brasil a legislação ambiental exige aos produtores rurais restaurar as florestas protetoras dos sistemas ribeirinhos (Soares-Filho et al., 2014). Embora as maiores chances de alagamento e um aumento na consciência ambiental dos agricultores puderam resultar numa maior proteção da vegetação florestal nas áreas próximas aos sistemas ribeirinhos, a baixa correlação entre a proximidade aos cursos d'água e fragmentos florestais encontrada neste estudo sugere que o efeito benéfico da proximidade aos cursos d'água se relaciona principalmente com as normativas ambientais. No Brasil, a normatividade exige a recomposição da vegetação nativa numa faixa de 5 a 100 metros, de cada lado dos cursos d'água, levando em consideração sua largura e o tamanho da propriedade rural (Lei nº 12.727; Lei de Proteção da Vegetação Nativa).

Em relação aos fatores socioeconômicos associados ao proprietário, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas pertencentes a pessoas com uma baixa dependência econômica da

propriedade. Possivelmente, a maior dependência promoveu entre 1995 e 2018 a inversão em formas mais variadas do uso da terra, diminuindo as chances de regeneração florestal. Este padrão também foi encontrado no Panamá, onde o aumento da porcentagem da renda mensal que provêm da venda dos produtos agrícolas, esteve relacionada com menores chances de regeneração florestal (Sloan, 2015). Se o proprietário possui áreas com distinta aptidão agrícola e apresenta uma dependência quase completa da renda gerada pelas atividades na propriedade, o óbvio seria manter a produção na maior quantidade de área possível, independentemente do retorno econômico (o importante é que seja diferente de zero). O nosso resultado aponta que a dependência econômica da propriedade está fortemente relacionada com o nível de aproveitamento dos recursos e, portanto, é recomendável medir a influência da renda nas chances de regeneração florestal, através da dependência econômica e não unicamente do ingresso per capita ou nível socioeconômico, como feito em alguns estudos na região tropical (Yackulic et al., 2011; Newman et al., 2014).

A alta dependência econômica da propriedade pode ser uma oportunidade para impulsionar atividades de restauração de paisagens florestais que incluam modelos de produção que usem mais eficientemente os recursos naturais e que melhorem as condições econômicas dos proprietários, principalmente daqueles mais pobres. Atualmente, existem numerosos arranjos produtivos que podem conciliar a produção agrícola e a conservação da natureza tais como os sistemas agroflorestais e silviculturais (Ceccon, 2013; Brancalion et al., 2017). De forma complementar, esses arranjos produtivos podem estar acompanhados de programas de incentivo econômico que retribuam aos produtores pelos serviços ecossistêmicos fornecidos pelas florestas, produto da regeneração natural, que eles mantêm nas áreas de menor aptidão agrícola (e.g. Evans et al., 2015).

Em áreas pertencentes a donos com baixa dependência econômica da propriedade, as florestas que regeneram naturalmente seriam boas candidatas para tratamentos silviculturais, como por exemplo o enriquecimento com espécies nativas de múltiplo propósito ou desbaste da vegetação para promover o crescimento dos regenerantes. Isto pode favorecer a recuperação da estrutura da floresta (Shoo e Catterall, 2013), o que maximizaria seu papel como provedoras de serviços ecossistêmicos. Na área de estudo, este tipo de atividades possui boas chances de serem apoiados por estarem baseados em tendências de uso do solo já em andamento e que levaram à regeneração florestal (Rudel, 2015).

Com relação aos fatores socioeconômicos associados à propriedade, a regeneração florestal foi mais frequente em propriedades com poucos residentes e com maior variedade de coberturas. No que se refere ao número de residentes, a disponibilidade de alternativas de subsistência distintas à agricultura que motivaram o deslocamento da moradia fora da área rural e o abandono de áreas agrícolas, são explicações possíveis deste fenômeno (Walsh, 2008; Rudel, 2012; Sloan, 2015). Na área de estudo, a terceirização da produção, principalmente de cana-de-açúcar sob o esquema da agricultura empresarial, veio acompanhada do deslocamento da moradia fora da área rural (apenas 36% dos entrevistados morava na propriedade rural na época da entrevista), da realocação trabalhista nos centros urbanos e do abandono de áreas não mecanizáveis. Por outro lado, os proprietários idosos que se mantiveram produzindo nas suas terras (a média da idade do total de entrevistados foi de 68 anos), perante à oferta de emprego não agrícola à qual podiam aceder

seus filhos na cidade, principalmente no setor industrial, diminuíram a extensão das terras cultivadas disponibilizando áreas para a regeneração florestal. A comparação do censo agropecuário realizado nos municípios da área de estudo para os anos de 1995 e 2006 reforça esta ideia, pois durante esse período a população rural ativa permaneceu estável com um aumento de apenas 3% (de 2184 produtores a 2251; IBGE 2017b).

No que se refere a uma maior regeneração em propriedades com maior heterogeneidade de coberturas, seu efeito positivo na regeneração florestal provavelmente relacionou-se com a presença de florestas naturais, florestas para fins de adequação ambiental e plantações comerciais de árvores, nas propriedades com maior heterogeneidade. Estes elementos podem funcionar na paisagem agrícola como pontos de conexão para a fauna dispersora de sementes (Borda-Niño et al., 2017; Pulsford et al., 2018; Ikin et al., 2018), e proporcionar diversos micro-habitats para a formação de bancos de sementes e o estabelecimento dos regenerantes. Quando um habitat perturbado domina, a competição com o elevado número de plantas não nativas pode diminuir a taxa de estabelecimento dos regenerantes (principalmente no caso das pastagens), retardando a formação das condições de micro-habitat necessárias para o avanço do processo sucessional, que leva ao estabelecimento de uma floresta (Catterall, 2016; Zermeño-Hernández et al., 2016; Weerasinghe et al., 2018).

Outra explicação da relação entre a elevada heterogeneidade de coberturas e a regeneração florestal encontrada neste estudo é o uso mais seletivo da terra e formas mais variadas de produção, que levaram ao abandono das áreas com a menor aptidão em comparação às demais áreas agrícolas (Rudel, 2015). Alguns estudos na região tropical demonstraram que o uso mais seletivo e a diversificação de sistemas de produção estão relacionadas com a permanência dos produtores na área rural, o qual é uma clara oportunidade de conservação. Na Amazônia brasileira, por exemplo, os proprietários que residiam há mais tempo mantiveram mais florestas na sua propriedade (Alvarez e Naughton-Treves, 2003). No Panamá, as famílias com mais tempo na propriedade costumavam ter uma área maior de floresta e menor de pastagem, quando comparadas com as famílias de colonos mais recentes (Sharma et al., 2015). Com o tempo, os proprietários conhecem melhor suas terras e o papel das árvores nas suas florestas, o que leva ao uso mais seletivo dos recursos naturais na propriedade, à criação de fontes alternativas de renda em sistemas de produção mistos e a rotinas de conservação ambiental (Rudel, 2015; Mofya-Mukuka e Hichaambwa, 2018). Neste estudo, houve certa relação positiva entre o tempo de gerenciamento e a chance de alguma mudança drástica nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade rural. Em 47% das propriedades rurais aconteceram essas mudanças foram decorrentes da queda do preço do produto principal produzido (45%), da impossibilidade econômica ou topográfica para a mecanização da produção (18%) e das dificuldades associadas à realização das atividades agrícolas devido ao envelhecimento do dono (15%). Adicionalmente, embora um pouco mais da metade dos proprietários não tinha concluído o ensino fundamental, foi detectado um conhecimento não formal muito variado sobre o uso dos recursos. Esse conhecimento foi fundamental para que em algumas gerações anteriores os proprietários enfrentassem, com a diversificação de culturas, crises econômicas como aquela decorrente da queda do preço do café em 1929 (Dorizotto, 2017).

Em síntese, mais que o abandono da propriedade ou da agricultura, as mudanças nas práticas de uso do solo em resposta à demanda nacional e internacional por certos produtos agrícolas, foram o verdadeiro motor da regeneração florestal na área de estudo. Essas demandas e como elas influenciam o uso do solo foram traduzidas no nível local pelas decisões individuais dos proprietários, que certamente foram influenciadas pelas limitações biofísicas impostas pela topografia às atividades agrícolas. A relação entre a regeneração florestal e as mudanças nas práticas de uso agrícola, mais do que com o abandono da agricultura ou da propriedade rural, é um assunto já abordado por alguns outros autores em pesquisas em regiões tropicais (Walsh et al., 2008; Bonilla-Moheno et al., 2012; Sloan, 2015; Rudel, 2015).

Acreditamos que como parte do dinamismo da cobertura florestal que caracteriza a área de estudo (Ferraz et al., 2014; Molin et al., 2017), a regeneração florestal em áreas marginais para a agricultura mecanizada pode ser uma situação temporal. O futuro das florestas que regeneraram naturalmente provavelmente dependa de aspectos econômicos ou do surgimento de inovações técnicas que ajudem a superar as barreiras até hoje impostas pela topografia à agricultura mecanizada. Em áreas onde a manutenção da cobertura floresta é obrigatória, sua permanência dependerá principalmente da fiscalização do cumprimento da normativa ambiental (Méndez-Toribio et al., 2017). Nesse sentido, seria necessário o planejamento integrado do uso do solo para aperfeiçoar a distribuição espacial dos tipos de usos do solo e favorecer a permanência na paisagem das florestas que regeneraram naturalmente (e.g. Gao et al., 2010; Wang et al., 2015). Por outro lado, as florestas que regeneraram naturalmente em áreas marginais para a agricultura podem estar afetadas em sua estrutura e composição (Lugo e Helmer, 2004; Sattler et al., 2014). Informação detalhada sobre essas características é essencial para avaliar o potencial na conservação dessas florestas frente a outros arranjos de restauração florestal, como o plantio de mudas de espécies nativas (e.g. César et al., 2018).

Os resultados obtidos neste estudo apoiam o uso integrado de insumos de sensoriamento remoto e de dados obtidos através de um Survey social para avaliar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos nas mudanças de uso do solo, que levaram à regeneração florestal numa paisagem rural da região sudeste do Brasil. Adicionalmente, destacam a importância de considerar os fatores socioeconômicos influentes da regeneração, que atuam a uma escala espacial mais fina, na escolha das atividades de restauração baseadas no potencial da regeneração florestal, a fim de garantir seu sucesso. As atividades de restauração de paisagens florestais na região de estudo, ou em paisagem tropicais modificados pelo homem com condições socio-ecológicas similares, poderiam considerar os fatores biofísicos e socioeconômicos descritos neste estudo no desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração, que estejam associados adequadamente ao contexto onde potencialmente poderiam ser utilizados. No entanto, no desenvolvimento de modelos preditivos, seria importante considerar o dinamismo da paisagem para simular com precisão futuras mudanças na cobertura florestal.

3.5. Conclusões

Na paisagem rural escolhida para este estudo o elemento humano desempenhou um papel fundamental na criação e transformação da paisagem, principalmente por meio das mudanças no uso do solo que levaram à regeneração florestal entre 1995 e 2018. A regeneração foi influenciada por uma combinação de fatores biofísicos e socioeconômicos, esses últimos associados ao proprietário e à propriedade rural. Em relação aos fatores biofísicos, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas pouco atraentes para a produção agrícola mecanizada moderna, antigamente destinadas à produção pecuária extensiva e de cana-de-açúcar, e foi favorecida em áreas próximas aos fragmentos de floresta e cursos d'água. No que se refere aos fatores socioeconômicos, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas pertencentes a pessoas com uma baixa dependência econômica da propriedade, em propriedades com poucos residentes e com maior variedade de coberturas do solo. Nossos resultados podem ajudar no desenvolvimento de modelos preditivos de regeneração florestal e de priorização espacial da restauração de paisagens florestais na região de este estudo ou em paisagens tropicais com condições socioecológicas similares. Adicionalmente, mostram a importância da aquisição e estudo de dados mais detalhados sobre o efeito local dos fatores biofísicos e socioeconômicos para que tanto os modelos preditivos quanto as atividades de restauração sejam melhor planejados e sucedidos. Na paisagem rural escolhida para este estudo e em outros contextos, seria importante avaliar a qualidade das florestas que regeneraram naturalmente em termos da sua capacidade para a conservação da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos, bem como o efeito de tratamentos silviculturais que favoreçam a integração das florestas em regeneração com as atividades agrícolas na paisagem rural.

Referências

- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., ... & Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271.
- Angelsen, A., & Friis, J. (2001). Designing the Household Questionnaire. In: Angelsen, A. (Ed.). (2011). *Measuring livelihoods and environmental dependence: Methods for research and fieldwork*. Routledge.
- Alvarez, N. L., & Naughton-Treves, L. (2003). Linking national agrarian policy to deforestation in the Peruvian Amazon: a case study of Tambopata, 1986–1997. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(4), 269-274.
- Arroyo-Rodríguez, V., Melo, F. P., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., Meave, J. A., ... & Tabarelli, M. (2017). Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews*, 92(1), 326-340.
- Assembleia Geral das Nações Unidas (2019) ONU declara Década sobre Restauração de Ecossistemas. Disponível em <http://nacoesunidas.org/onu-declara-decada-sobre-restauracao-de-ecossistemas/>. Acessado em abril de 2019.
- Bakker, M. M., & van Doorn, A. M. (2009). Farmer-specific relationships between land use change and landscape factors: Introducing agents in empirical land use modelling. *Land Use Policy*, 26(3), 809-817
- Barton, K. (2013). MuMIn: Multi-Model Inference. R Package Version 1.9. 5. Disponível em <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf>. Acessado em janeiro de 2019.
- Borda-Niño, M., Hernández-Muciño, D., & Ceccon, E. (2017). Planning restoration in human-modified landscapes: New insights linking different scales. *Applied geography*, 83, 118-129.

Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Strassburg, B. B. N., & Rodrigues, R. R. (2012). Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(1), 239.

Brancalion, P. H., Gandolfi, S., & Rodrigues, R. R. (2015). *Restauração florestal. Oficina de textos*. São Paulo.

Brancalion, P. H., Garcia, L. C., Loyola, R., Rodrigues, R. R., Pillar, V. D., & Lewinsohn, T. M. (2016). Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. *Natureza & Conservação*, 14, e1-e16.

Brancalion, P. H., Lamb, D., Ceccon, E., Boucher, D., Herbohn, J., Strassburg, B., & Edwards, D. P. (2017). Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. *Forest policy and economics*, 85, 103-113.

Brancalion, P. H., & van Melis, J. (2017). On the Need for Innovation in Ecological Restoration. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102(2), 227-237.

Bonilla-Moheno, M., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, 12(3), 543-557.

Catterall, C. P. (2016). Roles of non-native species in large-scale regeneration of moist tropical forests on anthropogenic grassland. *Biotropica*, 48(6), 809-824.

Ceccon, E., Huante, P., & Rincón, E. (2006). Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(2), 305-312.

Ceccon, E. (2013). *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. 1th Edition. Díaz de Santos. Pag. 139-149.

César, R. G., Moreno, V. S., Coletta, G. D., Chazdon, R. L., Ferraz, S. F., de Almeida, D. R., & Brancalion, P. H. (2018). Early ecological outcomes of natural regeneration and tree plantations for restoring agricultural landscapes. *Ecological Applications*, 28(2), 373-384.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2017). *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar*. V. 4 - SAFRA 2017/18 N.3 - Terceiro levantamento.

Crk, T., Uriarte, M., Corsi, F., & Flynn, D. (2009). Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables?. *Landscape Ecology*, 24(5), 629-642.

Chaudhary, A., Pfister, S., & Hellweg, S. (2016). Spatially explicit analysis of biodiversity loss due to global agriculture, pasture and forest land use from a producer and consumer perspective. *Environmental science & technology*, 50(7), 3928-3936.

Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press.

Chazdon, R. L. (2016). *Renascimento de florestas. Regeneração na era do desmatamento. Oficina de Textos*. São Paulo.

Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2016). Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica*, 48(6), 716-730.

Chazdon, R. L., & Uriarte, M. (2016). Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica*, 48(6), 709-715.

De Rezende, C. L., Uezu, A., Scarano, F. R., & Araujo, D. S. D. (2015). Atlantic forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodiversity and conservation*, 24(9), 2255-2272.

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... & Polasky, S. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272.

Decreto Federal nº 23.793. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm. Acessado em setembro de 2018.

Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G. S., Keymer, J., McGlade, J., ... & Wall, D. (2006). Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology*, 87(8), 1915-1924.

- Dorizotto, S. (2017). O Bairro de Recreio. Primeira edição. Caixas do Sul-RS. São Miguel, Brasil. ISBN: 978-85-663262-30-1.
- Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management*, 79(1), 74-87.
- Evans, M. C., Carwardine, J., Fensham, R. J., Butler, D. W., Wilson, K. A., Possingham, H. P., & Martin, T. G. (2015). Carbon farming via assisted natural regeneration as a cost-effective mechanism for restoring biodiversity in agricultural landscapes. *Environmental Science & Policy*, 50, 114-129.
- Ferraz, S. F., Ferraz, K. M., Cassiano, C. C., Brancalion, P. H. S., da Luz, D. T., Azevedo, T. N., ... & Metzger, J. P. (2014). How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning?. *Landscape ecology*, 29(2), 187-200.
- Floyd, J., & Fowler, J. R. (2009). Survey research methods. *Survey Research Methods* (4th ed.). SAGE Publications, Inc. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- Foelkel, C. E. B. (2005). Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. *Visão Agrícola*, (4), 66-69.
- Gallo, C. N. (2015). Uma metodologia para o setor sucroenergético. *Jornal da Unicamp*, (4), 1-2.
- García, L. (2000). Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí: séculos XVIII a XX—Atlas ambiental da Bacia do rio Corumbataí. Rio Claro: DEPLAN/IGCE/UNESP.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What Drives Tropical Deforestation. A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*, (4), 136
- Gao, Q., Kang, M., Xu, H., Jiang, Y., & Yang, J. (2010). Optimization of land use structure and spatial pattern for the semi-arid loess hilly-gully region in China. *Catena*, 81(3), 196-202.
- Gazier, B. (2011). La crise de 1929. Que sais-je ?. Presses universitaires de France. Francia. ISBN : 9782130575665
- Grau, H., & Aide, M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecology and society*, 13(2).
- Hardwick, K., Healey, J. R., Elliott, S., & Blakesley, D. (2004). Research needs for restoring seasonal tropical forests in Thailand: accelerated natural regeneration. *New Forests*, 27(3), 285-302.
- Harrison, X. A., Donaldson, L., Correa-Cano, M. E., Evans, J., Fisher, D. N., Goodwin, C. E., ... & Inger, R. (2018). A brief introduction to mixed effects modelling and multi-model inference in ecology. *PeerJ*, 6, e4794.
- Helmer, E. H. (2000). The landscape ecology of tropical secondary forest in montane Costa Rica. *Ecosystems*, 3(1), 98-114.
- Holl, K. D. (2017). Restoring tropical forests from the bottom up. *Science*, 355(6324), 455-456.
- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017a). Pesquisa pecuária municipal 1989-2017. IBGE, Brasília.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017b). Censo Agropecuário 1995-1996, 2006. IBGE, Brasília.
- Ikin, K., Tulloch, A. I., Ansell, D., & Lindenmayer, D. B. (2018). Old growth, regrowth, and planted woodland provide complementary habitat for threatened woodland birds on farms. *Biological conservation*, 223, 120-128.
- Jasinski, E., Morton, D., DeFries, R., Shimabukuro, Y., Anderson, L., & Hansen, M. (2005). Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. *Earth Interactions*, 9(16), 1-18.
- Kennaway, T., & Helmer, E. H. (2007). The forest types and ages cleared for land development in Puerto Rico. *GIScience & Remote Sensing*, 44(4), 356-382.
- Khaine, I., Woo, S. Y., Kwak, M., Lee, S. H., Je, S. M., You, H., ... & Park, J. H. (2018). Factors Affecting Natural Regeneration of Tropical Forests across a Precipitation Gradient in Myanmar. *Forests*, 9(3), 143.

Klein, L., Fragalli, A. C., Panhoca, L., & Garcias, P. M. (2015). Mudanças do código florestal: uma análise institucional da percepção de produtores agrícolas de um Município do Paraná. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS*, 4(1), 124-138.

Lambin, E. F. (2004). Linking Socioeconomic and Remote Sensing Data at the Community or at the Household Level. *People and the Environment*, 223-240.

Laestadius, L., Buckingham, K., Maginnis, S., & Saint-Laurent, C. (2015). Before Bonn and beyond: the history and future of forest landscape restoration. *Unasylva*, 66(245), 11.

Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 de 1998. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm. Acessado em setembro de 2018.

Lei nº 12.727 de 2012. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm. Acessado em setembro de 2018.

Lei nº 4.771 de 1965. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm. Acessado em setembro de 2018.

Lugo, A. E., & Helmer, E. (2004). Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management*, 190(2-3), 145-161.

Mas, J. F., Soares Filho, B., Pontius, R., Farfán Gutiérrez, M., & Rodrigues, H. (2013). A suite of tools for ROC analysis of spatial models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3), 869-887.

McAlpine, C. A., Etter, A., Fearnside, P. M., Seabrook, L., & Laurance, W. F. (2009). Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. *Global Environmental Change*, 19(1), 21-33.

Meli, P., Herrera, F. F., Melo, F., Pinto, S., Aguirre, N., Musálem, K., ... & Brancalion, P. H. (2017). Four approaches to guide ecological restoration in Latin America. *Restoration Ecology*, 25(2), 156-163.

Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. R. (2017). Current ecological restoration plans in Latin America: Progress and omissions. *Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30.

Mitchel, A. (2005). The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics. ESRI Guide to GIS analysis.

Mitchell, D. (2006). Sugar in the Caribbean: adjusting to eroding preferences. Development Prospects Group. The World Bank.

Mitsuda, Y., & Ito, S. (2011). A review of spatial-explicit factors determining spatial distribution of land use/land-use change. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 117-125.

Mofya-Mukuka, R., & Hichaambwa, M. (2018). Livelihood effects of crop diversification: a panel data analysis of rural farm households in Zambia. *Food Security*, 10(6), 1449-1462.

Molin, P. G., Gergel, S. E., Soares-Filho, B. S., & Ferraz, S. F. (2017). Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. *Landscape Ecology*, 32(4), 857-870.

Mukul, S. A., & Herbohn, J. (2016). The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: A synthesis of the key findings and spatio temporal distribution of research. *Environmental Science & Policy*, 55, 167-177.

Müller, H., Rufin, P., Griffiths, P., Hissa, L. D. B. V., & Hostert, P. (2016). Beyond deforestation: Differences in long-term regrowth dynamics across land use regimes in southern Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 186, 652-662.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.

Newing, H. (2010). Conducting research in conservation: Social science methods and practice. Routledge. New York.

Newman, M. E., McLaren, K. P., & Wilson, B. S. (2014). Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 185-200.

- Oliveira-Filho, A. T., & Fontes, M. A. L. (2000). Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate 1. *Biotropica*, 32(4), 793-810.
- Prefeitura Municipal de Corumbataí. (2017). Histórico do Município. Disponível em <http://www.corumbatai.sp.gov.br/index.php/historia>. Acessado em julho de 2018.
- Pulsford, S. A., Barton, P. S., Driscoll, D. A., Kay, G. M., & Lindenmayer, D. B. (2018). Reptiles and frogs use most land cover types as habitat in a fine-grained agricultural landscape. *Austral ecology*, 43(5), 502-513.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramos, P. (2008). A evolução da agroindústria canavieira e os mercados de açúcar e de álcool carburante no Brasil: a necessidade de planejamento e controle. In Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (Vol. 46, pp. 2-18).
- Rudel, T. K. (2012). The human ecology of regrowth in the tropics. *Journal of Sustainable Forestry*, 31(4-5), 340-354.
- Rudel, T. K. (2015). Have tropical deforestation's changing dynamics created conservation opportunities? A historical analysis. *Environmental conservation*, 42(2), 108-118.
- Rudorff, B. F. T., Aguiar, D. A., Silva, W. F., Sugawara, L. M., Adami, M., & Moreira, M. A. (2010). Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. *Remote sensing*, 2(4), 1057-1076.
- Sabogal, C., Besacier, C., & McGuire, D. (2015). Forest and landscape restoration: concepts, approaches and challenges for implementation. *Unasylva*, 66(245), 3.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). Research methods for business students. Fourth edition. Pearson Education Limited. England.
- Senado Federal, 2011. Revista em Discussão. Código Florestal: nova lei busca produção com preservação. Brasília: Secretaria Especial de Editoração e Publicações-SEEP, 2(9), 6-65.
- Sattler, D., Murray, L. T., Kirchner, A., & Lindner, A. (2014). Influence of soil and topography on aboveground biomass accumulation and carbon stocks of afforested pastures in South East Brazil. *Ecological engineering*, 73, 126-131.
- Sharma, D., Vergara-Asenjo, G., Cunampio, M., Cunampio, R. B., Cunampio, M. B., & Potvin, C. J. (2015). Genesis of an indigenous social-ecological landscape in eastern Panama. *Ecology and Society*.
- Shoo, L. P., & Catterall, C. P. (2013). Stimulating natural regeneration of tropical forest on degraded land: approaches, outcomes, and information gaps. *Restoration ecology*, 21(6), 670-677.
- Silva, W. G., Metzger, J. P., Simões, S., & Simonetti, C. (2007). Relief influence on the spatial distribution of the Atlantic Forest cover on the Ibiúna Plateau, SP. *Brazilian Journal of Biology*, 67(3), 403-411.
- Siqueira, K. B., Kilmer, R. L., & Campos, A. C. (2010). The dynamics of farm milk price formation in Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 48(1), 41-61.
- Sloan, S. (2015). The development-driven forest transition and its utility for REDD+. *Ecological Economics*, 116, 1-11.
- Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. (2007). Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Troubador Publishing Ltd.
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., ... & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363-364.
- Strassburg, B. B., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., Da Silva, V. P., Valentim, J. F., ... & Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, 28, 84-97.
- Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, C. B., Baker, M., ... & Randall, A. (2015). Committing to ecological restoration. *Science*, 348(6235), 638-640.

Suzigan, W. (1971). A industrialização de São Paulo: 1930-1945. *Revista Brasileira de Economia*, 25(2), 89-112.

Stanturf, J. A., Palik, B. J., & Dumroese, R. K. (2014). Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*, 331, 292-323.

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.

Trochim, W., (2006). The Research Methods Knowledge Base, 2nd Edition. Disponível em <http://www.socialresearchmethods.net/kb/>. Acessado em setembro de 2018

Van Vliet, J., Magliocca, N. R., Büchner, B., Cook, E., Benayas, J. M. R., Ellis, E. C., ... & Mertz, O. (2015). Meta-studies in land use science: Current coverage and prospects. *Ambio*, 45(1), 15-28.

Valente, R. D. O. A. (2001). Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP. Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP.

Valente, R. D. O. A., & Vettorazzi, C. A. (2003). Mapeamento de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí, SP.

Midi, H., Sarkar, S. K., & Rana, S. (2010). Collinearity diagnostics of binary logistic regression model. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 13(3), 253-267.

Walsh, S. J., Shao, Y., Mena, C. F., & McCleary, A. L. (2008). Integration of Hyperion satellite data and a household social survey to characterize the causes and consequences of reforestation patterns in the northern Ecuadorian Amazon. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(6), 725-735.

Wang, S. D., Wang, X. C., & Zhang, H. B. (2015). Simulation on optimized allocation of land resource based on DE-CA model. *Ecological modelling*, 314, 135-144.

Warren, D. (1977). Rio Claro: Um sistema Brasileiro de grande lavoura, 1820-1920. Tradução de Waldívia Portinho. Paz e Terra. Coleção Estudos Brasileiros. 205 p. vol. 21. Rio de Janeiro, Brasil.

Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200).

Weerasinghe, M., Ashton, M. S., Hooper, E. R., & Singhakumara, B. M. (2018). Floristics of soil seed banks on agricultural and disturbed land cleared of tropical forests. *Restoration Ecology*. 27,138-147.

World Resources Institue (2018) Initiative 20x20: Bringing 20 million hectares of degraded land in Latin America and the Caribbean into restoration by 2020. Disponível em <http://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20/about-initiative-20x20#project-tabs>. Acessado em setembro de 2018.

Yackulic, C., Fagan, M., Jain, M., Jina, A., Lim, Y., Marlier, M., ... & Uriarte, M. (2011). Biophysical and socioeconomic factors associated with forest transitions at multiple spatial and temporal scales. *Ecology and Society*, 16(3).

Zermeño-Hernández, I., Pingarrón, A., & Martínez-Ramos, M. (2016). Agricultural land-use diversity and forest regeneration potential in human-modified tropical landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 210-220.

Apêndices

Apêndice 1. Protocolo de entrevista: Regeneração natural de florestas tropicais em paisagens agrícolas: análise dos determinantes socioeconômicos e biofísicos.

Bom dia/Boa tarde, meu nome é Mônica Lorena Borda, sou estudante da Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) em Piracicaba. Atualmente estou envolvida numa pesquisa que tem como objetivo entender a relação que há entre algumas características da paisagem como a declividade e o tipo de solo, aspectos socioeconômicos e surgimento espontâneo de florestas em áreas agrícolas. Num estudo realizado pelo grupo de pesquisa no qual estou envolvida, foi encontrado que a área ocupada com florestas ao redor do rio Corumbataí aumentou nos últimos 60 anos. Assim, essa região é um laboratório natural perfeito que eu gostaria de aproveitar para entender os fatores que levaram às áreas agrícolas se tornar florestas. Com a permissão do senhor/senhora vou fazer algumas perguntas durante 45 minutos. A informação recolhida é confidencial e será apenas usada por mim para fins de pesquisa.

Paisagem N°: _____; Município N°: _____;
Data (dd/mm/aa): _____; Coordenada UTM: _____.

Aspectos socioeconômicos associados aos proprietários individuais e sua propriedade

Seção I: Características gerais do proprietário e sua propriedade

- 1) ID da propriedade: _____
- 2) Sexo: F () ; M ()
- 3) O senhor (a) nasceu neste município?
Sim () ; Não ()
Se não, o senhor (a) nasceu aonde? _____
- 4) De onde vieram seus avós e seus pais? Com o que eles trabalham ou trabalhavam?

- 5) O senhor (a) tem filhos?
Sim () ; Não ()
Se tem, quantos filhos? _____
Se tem, o que eles fazem? (Trabalho/estudo):

	Atividade		Atividade
Filho 1		Filho 4	
Filho 2		Filho 5	
Filho 3		Filho 6	

Se tem, quantos filhos dependem economicamente do senhor (a)? _____

- 6) O senhor (a) mora neste sítio/fazenda?
Sim () ; Não ()
Se sim, desde quando (ano)? _____
Se não, o senhor (a) mora onde? (Nome cidade, município): _____
Se não, o senhor (a) já morou neste sítio/fazenda?
Sim () ; Não ()
Se sim, o que motivou a mudança de moradia?

- 7) Qual é o tamanho deste sítio/fazenda? _____ hectares () ; alqueires ()

- 8) Desde quando (ano) o senhor (a) é dono (a) deste sítio/fazenda (da terra)? _____

- 9) Quantas pessoas residem neste sítio/fazenda? (*Número de pessoas que residem na propriedade embora em casas diferentes, incluindo o proprietário se for o caso*): _____
- 10) O senhor (a) possui escritura deste sítio/fazenda?
Sim (☐); Não (☐)
Se não, qual documento possui? _____
- 11) O senhor (a) tem outro (s) sítio/fazenda (s)?
Sim (☐); Não (☐)
Se sim, quantos sítios/fazendas o senhor tem? _____
Se sim, indique-me, por favor, a localização desse (s) outro (s) sítio/fazenda (s) na seguinte imagem: (*Apresentar imagem de satélite com o limite do município e a sub-paisagem focal, colocar um ponto no local sinalizado. Em caso de o entrevistado ter outro (s) sítio/fazenda (s) da minha amostra, preencher por sítio/fazenda um novo protocolo fazendo só as perguntas pertinentes*).
Outra propriedade (s) dentro da minha amostra: Sim (☐); Não (☐)
Outra propriedade (s) fora da sub-paisagem focal: Sim (☐); Não (☐)
- 12) Qual é a última (o) série/ano escolar concluída (o) pelo senhor (a)? _____
Considerar mudanças na divisão do sistema de educação Brasileiro. Ver guia no Anexo I
- 13) O senhor (a) fez outros estudos?
Sim (☐); Não (☐)
Se sim, qual dos seguintes?
Faculdade (☐); bacharelado (☐); formação tecnológica (☐); ensino técnico (☐); cursos de curta duração (☐)
Se sim, qual o nome do curso? _____
- 14) O senhor (a) pode me dizer seu nome completo, por favor? _____
- 15) Qual é a sua data de nascimento (dd/mm/aa)? _____
- 16) Qual é o seu Estado Civil?
Solteiro (a) (☐); casado (a) (☐); divorciado (a) (☐); viúvo (a) (☐)

Seção II: Uso da terra

- 17) O senhor (a) cria animais neste sítio/fazenda?
Sim (☐); Não (☐)
Se sim, indique-me, por favor, o que tipo de animais você tem atualmente e o número de cabeças e/ou indivíduos:

Tipos de animais	Total
Bovinos (<i>gado</i>) <u>fazer distinção entre vacas, bezerros, novilhas e touros.</u>	
Suínos (<i>porcos</i>)	
Caprino (<i>ovelhas, carneiros e cordeiros</i>)	
Equino (<i>cavalos</i>)	
Bubalino (<i>búfalos</i>)	
Aves	
Coelhos	

Se sim, para o ano de 2012 o senhor (a) tinha esse mesmo tipo de animais e nessa quantidade?

Sim (☐); Não (☐)

Se não, qual foi a principal mudança? _____

- 18) Como o seu sítio/fazenda está dividido? Indique-me, por favor, quais dos seguintes elementos estão presentes neste sítio/fazenda (*Solicitar para o entrevistado realizar no verso da folha um desenho com a distribuição dos elementos presentes no sítio/fazenda*).

Atividades
Lavouras
Permanentes (<i>culturas de longa duração, que após a colheita não necessitassem de novo plantio, produzindo por vários anos sucessivos</i>). Sim (); Não ()
Temporárias (<i>culturas de curta duração - menor que um ano- e que necessitassem de novo plantio após cada colheita</i>). Sim (); Não ()
Terras em descanso (<i>Terras utilizadas para o plantio de lavouras temporárias, que par a data da entrevista se encontravam em descanso, por prazo não superior a quatro anos em relação ao último ano de sua utilização</i>). Sim (); Não ()
Pastagens para criação de gado
Naturais (<i>áreas destinadas ao pastoreio do gado, sem terem sido formadas mediante plantio</i>). Sim (); Não ()
Pastagens plantadas (<i>áreas destinadas ao pastoreio e formadas mediante plantio</i>). Sim (); Não ()
Matas e/ou florestas
Matas e/ou florestas naturais. Sim (); Não ()
Florestas plantadas com espécies da região para fins de adequação ambiental (<i>principalmente nativas</i>). Sim (); Não ()
Florestas plantadas com fins unicamente comerciais (<i>eucalipto, pinus, acácia, seringueira, nativas</i>). Sim (); Não ()
Sistemas agroflorestais
Área com árvores, também usada para pastejo de animais. Sim (); Não ()
Área com árvores, também usada para lavouras. Sim (); Não ()
Área não ocupada com lavouras, pastagens, matas e/ou florestas.
Tanques, lagos artificiais, represas, locais para acumulação de água de chuva. Sim (); Não ()
Brejos, lagos naturais, pântanos, rios ou córregos, permanentes ou transitórios. Sim (); Não ()
Construções, benfeitorias ou caminhos. Sim (); Não ()
Terras degradadas (<i>erodidas, desertificadas, salinizadas, etc.</i>). Sim (); Não ()
Terras inaproveitáveis (<i>áreas imprestáveis para formação de culturas, pastos e florestas, tais como: areais, encostas íngremes, pedreiras, etc.</i>). Sim (); Não ()

Seção III: Renda do proprietário

- 19) Neste sítio/fazenda o senhor (a) realiza ou supervisiona alguma atividade agrícola e/ou pecuária?
Sim (); Não ()
Se não, ir para a pergunta 28.
- 20) Nessas atividades o senhor (a) usa mão de obra da própria família (e.g. filhos, esposa, sobrinhos)?
Sim (); Não ()
- 21) Quais foram os principais produtos produzidos no ano de 2016 neste sítio/fazenda? Por favor, indique-me se os produtos que foram produzidos para serem vendidos e/ou consumidos diretamente pelo senhor e sua família (e.g. cana, madeira, leite, peixe, forragem, gado de corte, produtos hortícolas).

Produto	Destino
Principal:	Vendido () Consumido ()
Secundário:	Vendido () Consumido ()
Terciário:	Vendido () Consumido ()
Quaternário:	Vendido () Consumido ()

- 22) Quanto o senhor (a) teria que pagar no mercado por mês se tivesse que comprar os produtos que o senhor (a) produz neste sítio/fazenda para serem consumidos diretamente pelo senhor e sua família? _____(R\$)

- 23) O senhor (a) possui maquinaria agrícola (e.g. *trator, colheitadeira, equipamento de irrigação, equipamento de ordenha*)?

Sim (☐); Não (☐)

Se sim, qual?

- 24) Agora vou perguntar para o senhor (a) por cada um dos produtos que foram produzidos no ano de 2016 neste sítio/fazenda para serem vendidos:

No caso de pecuária:

Perguntar por tipo de animal vendido e preço por cabeça/indivíduo (e.g. *número de vacas, bezerros ou novilhas vendidas em 2016 e preço por cabeça; número de galinhas vendidas em 2016 e preço por indivíduo*).

No caso de outros produtos (e.g. lavouras, leite, queijo, ovo, peixe, cana, entre outros):

Pensando na (s) safra (s) do ano 2016, indique-me, por favor, a quantidade produzida no ano de cada produto, bem como seu valor de venda:

Produto	Produção* (Kg, caixas, Ton.)	Valor (Por kg, caixas, Ton.)
Produto principal: _____		(R\$)
Produto secundário: _____		(R\$)
Produto terciário: _____		(R\$)
Produto quaternário: _____		(R\$)

* Quantidade produzida (em kg, caixas, etc.) na (s) safras (s) do ano 2016: considerar a produção TOTAL juntando a produção das safras do ano, em caso de ter mais de uma.

- 25) O principal produto produzido neste sítio/fazenda e que foi vendido no ano de 2016 (*Perguntar com as respostas da pergunta 21*), teve como finalidade o mercado: Local, dentro do município (☐); nacional, fora do município (☐); internacional, fora do país (☐).
- 26) Considerando o ano de 2016, qual foi a quantidade de dinheiro que você investiu na produção durante esse ano? (*Estimular o entrevistado perguntando pelo custo de maquinaria alugada, aluguel de pasto em outras propriedades no caso de pecuaristas, fertilizantes, sementes, mão de obra contratada - diarista ou empregado -, entre outros*): (R\$)

- 27) O senhor (a) teve financiamento externo para esse investimento?

Sim (☐); Não (☐)

Se sim, qual foi o programa de financiamento? _____

- 28) O senhor (a) recebe renda pelo aluguel de terra neste sítio/fazenda?

Sim (☐); Não (☐)

Se sim, indique-me, por favor, a renda gerada pelo seu aluguel no último mês:

(R\$) _____

- 29) O senhor (a) recebe renda pelo aluguel de outros itens de sua posse diferente a terra? (e.g. *ferramenta, maquinaria agrícola, casas, prédios, entre outros*)?

Sim (☐); Não (☐)

Se sim, indique-me, por favor, a renda gerada pelo aluguel desses outros itens no último mês (R\$): _____

No caso de o proprietário ter mais de um sítio/fazenda fora da sub-paisagem focal:

30) O senhor (a) disse que tem mais outro (s) sítio (s) / fazenda (s). Considerando o ano de 2016, indique-me, por favor, a renda líquida gerada pelas das atividades agrícolas ou pecuárias neles desenvolvidas:
(R\$): _____

31) O senhor (a) disse que tem mais outro (s) sítio (s) / fazenda (s). Indique-me, por favor, a renda gerada pelo aluguel de terra nessas outras propriedades no último mês:
(R\$): _____

32) O senhor (a) é assalariado (a)?

Sim (); Não ()

Se sim, indique-me, por favor, sua renda salarial no último mês (R\$): _____

33) O senhor (a) é aposentado (a)?

Sim (); Não ()

Se sim, indique-me, por favor, sua renda por aposentadoria no último mês (R\$): _____

Perspectiva histórica do entrevistado sobre seu sítio/fazenda

34) Desde que o senhor (a) é dono deste sítio/fazenda houve alguma mudança drástica nas atividades agrícolas e/ou pecuárias aqui desenvolvidas? (*Tipo de produtos produzidos e formas de produção*)

Sim (); Não ()

Se sim, em qual ano ocorreu essa mudança? _____

Se sim, porque o senhor (a) mudou de atividade? _____

Se não, ir para pergunta 37.

35) Para o ano em que ocorreu a mudança qual era o principal produto produzido e vendido/atividade realizada neste sítio/fazenda? _____

No caso de produtos produzidos e vendidos, tinham como finalidade qual mercado? Local, dentro do município (); nacional, fora do município (); internacional, fora do país ().

36) Para o ano que ocorreu a mudança o senhor (a) alugava terras neste sítio/fazenda?

Sim (); Não ()

Se sim, lembra qual era a finalidade dessas terras? _____

37) O que você lembra sobre as atividades agrícolas e/ou pecuárias desenvolvidas neste sítio/fazenda antes que você fosse o dono? Fale-me, por favor, sobre a principal atividade desenvolvida: _____

Percepção sobre as florestas que regeneraram espontaneamente no sítio/fazenda

38) Dentro deste sítio/fazenda o senhor (a) tem ou teve áreas aproveitáveis para a agricultura e/ou pecuária em descanso ou repouso?

Sim (); Não ()

Se sim, na média, qual o tempo de descanso proporcionado a essas áreas? _____

Se sim, o que o senhor (a) pretende com o repouso das terras? _____

39) O senhor (a) já abandonou áreas deste sítio/fazenda anteriormente voltadas à produção (e.g. áreas destinadas a lavouras temporárias, permanentes, plantações florestais)?

Sim (); Não ()

Se sim, o que motivou o abandono? _____

Se não, ir para a pergunta 41

40) Entre as áreas que o senhor (a) abandonou alguma virou sozinha uma floresta, atualmente presente neste sítio/fazenda? Com floresta me refiro a uma área com vegetação própria da região composta por árvores e arbustos principalmente.

Sim (); Não ()

Se sim, qual a idade (anos) da floresta mais antiga desse tipo? _____

Se sim, qual a localização dessa floresta?

Área de preservação permanente (); Reserva legal (); outra área ().

Outra área, qual? _____

- 41) O senhor (a) percebeu que a floresta voltou sozinha em alguma área deste sítio/fazenda, embora essa área não tivesse sido abandonada? Com floresta me refiro a uma área com vegetação própria da região composta por árvores e arbustos principalmente (e.g. *a partir das bordaduras de remanescentes florestais, plantações florestais*).

Sim (); Não ()

Se sim, qual a localização da floresta mais antiga desse tipo? _____

- 42) O senhor (a) usa as florestas que voltaram sozinhas neste sítio/fazenda para alguma das seguintes atividades? Lazer (); educação (); pesca (); extração de produtos (*frutos, lenha, forragem, mel*) (); atividades religiosas (); outros usos (); nenhum uso ().

Outros usos, qual? _____

- 43) O senhor (a) tem algum receio de usar as florestas que voltaram sozinhas neste sítio/fazenda?

Sim (); Não ()

Se sim, qual o motivo? _____

- 44) O senhor (a) obtém algum benefício das florestas que voltaram sozinhas neste sítio/fazenda?

Sim (); Não ()

Se sim, qual benefício? _____

- 45) A presença das florestas que voltaram sozinhas neste sítio/fazenda prejudica o senhor (a) de alguma forma?

Sim (); Não ()

Se sim, por quê? _____

- 46) Considerando essas florestas que voltaram sozinhas, numa escala de 1 a 6, quanto você concorda ou discorda com cada uma das seguintes afirmações? 1 significa completamente em acordo e 6 completamente em desacordo:

- Nas florestas que voltaram sozinhas, encontro benefícios importantes como a produção de água e a proteção do solo contra a erosão ().
- As florestas que voltaram sozinhas são importantes para a sobrevivência dos animais da mata ().
- As florestas que voltaram sozinhas são importantes para a saúde do meio ambiente porque limpam o ar ().
- Se não existisse a legislação ambiental, eu preferiria que as florestas que voltaram sozinhas fossem substituídas por lavouras, mineração ou plantações florestais, como o eucalipto ou o pinus ().
- As florestas que voltaram sozinhas seriam mais bem aproveitadas se dentro delas fossem realizadas atividades de ecoturismo ou atividades educativas ().
- Se tivesse os conhecimentos necessários e dentro do que é permitido pela legislação ambiental, eu gostaria gerar lucro econômico a partir do manejo das florestas que voltaram sozinhas ().

Anexo 1

Guia para o entrevistador:

Antes		Agora	
Primário	Maternal Jardim I e Jardim II	Ensino infantil	Creche Pré-escola
Primeiro grau	Pré; 1ª a 8ª série	Ensino fundamental	1º a 9º ano
Segundo grau	1º a 3º ano	Ensino médio*	1º a 3º ano
Terceiro grau		Ensino superior (bacharelado, licenciatura, formação tecnológica).	

*outros nomes mais antigos para ensino médio: colegial, normal, científico.

Apêndice 2. Variáveis preditivas para analisar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

Variáveis biofísicas

Altitude (m): distância vertical medida entre um ponto na superfície da terra na área de estudo e o nível médio do mar.

Declividade (graus): inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal.

Índice de Posição Topográfica: o índice representa a posição topográfica num *continuum* onde os valores positivos indicam locais que são mais elevados que seu entorno (como as cristas e os topos das montanhas), os valores negativos representam os locais mais rebaixados (como vales ou depressões) e valores próximos a zero representam as superfícies planas (Weiss, 2001).

Distância euclidiana aos cursos d'água (m): distância entre um ponto da superfície da terra na área de estudo e o corpo d'água mais próximo.

Distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta (m): distância entre um ponto da superfície da terra na área de estudo e o remanescente de floresta (mapeado no ano de 1995) mais próximo.

Variáveis socioeconômicas

Associadas ao proprietário

O proprietário mora na propriedade rural atualmente? Local de moradia do proprietário. Pergunta realizada para verificar se o proprietário mora na propriedade na data da entrevista.

Nível educativo: última série ou ano escolar concluído pelo proprietário. O nível educativo foi atribuído a alguma das seguintes categorias: ensino fundamental, ensino médio, faculdade ou pós-graduação, p.ex. Se do ensino fundamental um proprietário concluiu o sétimo ano e outro o quinto ano, ambos foram considerados pertencentes ao grupo de “ensino fundamental”.

Idade: calculada a partir da data de nascimento do proprietário.

O proprietário desenvolve alguma atividade agrícola na propriedade rural? Atividade agrícola desenvolvida pelo proprietário na propriedade. Pergunta realizada para determinar se o proprietário realiza alguma atividade agrícola na propriedade, embora essa atividade não seja sua principal fonte de renda; p.ex. proprietários que produzem alimentos para serem consumidos diretamente por ele e sua família (“culturas para o gasto”).

O proprietário incorpora mão de obra familiar nas atividades agrícolas desenvolvidas por ele na propriedade rural? Mão de obra familiar nas atividades agrícolas. Pergunta realizada para verificar se a família do proprietário se envolve nas atividades agrícolas realizadas por ele na propriedade.

Número de propriedades rurais pertencentes ao proprietário: número total de propriedades pertencentes ao proprietário na data da entrevista.

Renda total anual (salários mínimos): somatória em salários mínimos no ano anterior, 1) da renda líquida derivada da venda de produtos agrícolas produzidos na propriedade rural*, 2) do valor

monetário dos produtos produzidos na propriedade que são consumidos diretamente pelo proprietário e sua família, 3) da renda gerada pelo aluguel de terrenos ou outras formas de capital, 4) ganhos salariais e 5) da renda de aposentadoria (Angelsen e Friis, 2011). *Se o proprietário tiver mais de uma propriedade rural dentro das sub-paisagens focais que foi amostrada, foi somada a renda líquida derivada da venda de produtos agrícolas produzidos nessas propriedades.

Nível de dependência econômica da propriedade rural (%): porcentagem da renda total anual que provem de atividades relacionadas com a propriedade rural incluindo 1) renda líquida derivada da venda de produtos agrícolas produzidos na propriedade, 2) valor monetário dos produtos produzidos na propriedade que são consumidos diretamente pelo proprietário e sua família e 3) renda gerada pelo aluguel de terra dentro da propriedade. Se o proprietário tiver mais de uma propriedade dentro das sub-paisagens focais que foi amostrada, o grau de dependência representou a porcentagem da renda total anual que provem das atividades relacionadas com essas propriedades.

Número de fontes de renda distintas à aquela derivada de atividades na propriedade rural: número de fontes de renda distintas à propriedade incluindo, 1) renda derivada da venda de produtos agrícolas produzidos em propriedades fora das sub-paisagens focais, 2) renda gerada pelo aluguel de terras em propriedades fora das sub-paisagens focais, 3) aluguel de outros bens diferentes de terra, 4) ganhos salariais e 5) renda de aposentadoria.

Associadas à propriedade rural

Tamanho da propriedade (ha): tamanho da propriedade calculado a partir dos mapas das propriedades rurais do Estado de São Paulo disponíveis na plataforma online do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural do Brasil.

Desde que ano o proprietário é dono da propriedade? Tempo em anos de posse da terra. Pergunta realizada para verificar se o entrevistado é dono da terra há pelos 13 anos. Dessa forma foi garantindo que a informação fornecida fosse representativa da gestão das terras de pouco mais da metade do tempo de estudo (1995 a 2018).

Número de pessoas que residem na propriedade: número de pessoas que residem na propriedade na data da entrevista, incluindo o entrevistado se for o caso.

Número de cabeças de gado por hectare na propriedade: número de cabeças de gado que pastam na propriedade, pertencentes ou não ao entrevistado. O número de cabeças foi calculado como a média entre o número de cabeças que pastaram permanentemente na propriedade no ano da entrevista e no ano de 2012.

Número de diferentes coberturas presentes na propriedade: número de coberturas diferentes na propriedade na data da entrevista. Foram consideradas culturas permanentes, culturas temporárias, terras em descanso, pastagens, floresta naturais, florestas para fins de adequação ambiental e plantações comerciais de árvores. p.ex. se a propriedade tinha mais de uma cultura temporária, todas foram consideradas pertencentes ao grupo culturas temporárias. O entrevistado foi convidado a realizar um desenho da sua propriedade para facilitar o cálculo do número de coberturas.

Principal produto agrícola produzido na propriedade que é vendido: principal produto agrícola que foi produzido na propriedade no ano anterior e vendido. O principal produto foi atribuído a alguma das seguintes categorias: cultura temporal, cultura permanente, cultura permanente-plantação florestal, leite, gado de corte e outros (i.e. areia de rio, frango, olaria, ovos e cultivo de orquídeas em estufa).

Ocorrência de mudanças drásticas nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade durante o tempo em que o proprietário leva sendo o dono? Pergunta realizada para verificar se houve alguma mudança drástica nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade. Se for o caso, foi perguntado o motivo da mudança e foi atribuída a alguma das seguintes categorias: acessibilidade, falta de mão de obra, fatores tecnológicos (p.ex. impossibilidade econômica ou topográfica para a mecanização da produção), idade, queda do preço do produto produzido anteriormente ou visão produtiva inovadora (p.ex. pessoas que mudaram a forma a produção). Adicionalmente, foi perguntado sobre o principal produto agrícola produzido na propriedade na época anterior à mudança (cultura temporal, cultura permanente, cultura permanente-plantação florestal, leite, gado de corte e outros).

Distância euclidiana a estradas (m): distância entre um ponto da superfície da terra na área de estudo e a estrada mais próxima. Foram consideradas estradas pavimentadas e não pavimentadas.

Distância euclidiana a áreas urbanas (m): distância entre um ponto da superfície da terra na área de estudo e a área urbana mais próxima.

Apêndice 3. Matriz de correlação de Pearson: variáveis preditivas para analisar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

Os valores de Pearson ≥ 0.5 são destacados em cinza.

O (*) sinaliza as variáveis biofísicas e socioeconômicas não correlacionadas utilizadas no Modelo Linear Geral Misto (MLGM).

		Variáveis biofísicas					Variáveis socioeconômicas associadas:																		
							À propriedade rural									Ao produtor									
		A*	B*	C*	D*	E*	F*	G	H*	I*	J*	K*	L*	M	N	O	P	Q	R	S	T	U*	V	W*	
Variáveis biofísicas	A*	1																							
	B*	0.06	1																						
	C*	-0.02	0.01	1																					
	D*	-0.24	0.14	-0.02	1																				
	E*	-0.06	0.05	0.00	0.47	1																			
Variáveis socioeconômicas associadas:	F*	0.06	-0.22	-0.07	-0.01	0.00	1																		
	G	0.03	-0.62	0.06	0.01	0.13	0.05	1																	
	H*	0.11	0.17	-0.01	-0.15	0.04	0.09	0.10	1																
	I*	0.06	-0.13	-0.08	-0.07	-0.02	0.17	0.07	0.19	1															
	J*	0.03	-0.16	0.04	0.04	0.07	0.04	0.23	0.08	0.14	1														
	K*	0.13	0.38	0.03	0.00	-0.09	-0.16	0.06	0.33	0.15	0.33	1													
	L*	-0.02	-0.27	0.00	0.19	0.25	0.07	0.44	0.19	-0.05	-0.24	-0.05	1												
	M	-0.04	0.18	-0.05	0.00	0.04	0.04	-0.13	0.19	0.57	0.24	0.18	-0.25	1											
	N	0.01	0.17	0.02	-0.07	-0.24	-0.06	-0.30	-0.24	0.21	0.22	0.11	-0.55	0.22	1										
	O	0.03	-0.26	0.02	-0.04	-0.05	-0.09	0.25	-0.15	-0.22	0.24	0.04	0.14	-0.29	-0.01	1									
	P	0.02	0.52	0.01	-0.05	0.04	0.01	-0.32	0.61	-0.04	-0.01	0.39	-0.03	0.25	-0.07	-0.46	1								
	Q	0.03	0.04	-0.01	0.00	-0.05	-0.01	0.04	0.09	0.60	0.04	0.15	-0.11	0.46	0.11	-0.36	-0.11	1							
	R	-0.11	0.01	0.02	0.00	-0.13	-0.10	-0.34	-0.53	-0.08	0.12	-0.14	-0.39	-0.11	0.48	0.20	-0.26	-0.14	1						
	S	-0.07	0.05	-0.02	-0.09	-0.18	-0.05	-0.35	-0.38	-0.07	0.17	-0.10	-0.50	0.06	0.46	0.19	-0.22	-0.16	0.73	1					
	T	0.01	-0.55	-0.03	-0.08	-0.03	0.04	0.46	0.00	0.06	-0.37	-0.35	0.51	-0.27	-0.31	0.20	-0.43	-0.06	-0.29	-0.23	1				
	U*	0.03	-0.35	-0.05	-0.11	-0.09	0.10	0.16	0.13	0.05	-0.25	-0.29	0.35	-0.13	-0.04	-0.04	-0.06	-0.26	-0.21	-0.14	0.59	1			
	V	0.09	-0.19	-0.03	-0.15	0.00	0.09	0.27	0.63	0.01	-0.22	0.01	0.44	-0.20	-0.34	0.25	0.12	-0.21	-0.54	-0.40	0.55	0.42	1		
	W*	0.02	-0.09	0.00	0.03	0.16	0.04	0.22	0.29	-0.06	-0.02	0.14	0.33	-0.06	-0.11	0.50	-0.08	-0.22	-0.11	-0.04	0.30	0.03	0.50	1	

Valores de P

		Variáveis biofísicas					Variáveis socioeconômicas associadas:																	
							À propriedade rural								Ao produtor									
		A*	B*	C*	D*	E*	F*	G	H*	I*	J*	K*	L*	M	N	O	P	Q	R	S	T	U*	V	W*
Variáveis biofísicas	A*	NA																						
	B*	0.01	NA																					
	C*	0.44	0.81	NA																				
	D*	0.00	0.00	0.32	NA																			
	E*	0.02	0.05	0.99	0	NA																		
Variáveis socioeconômicas associadas:	À propriedade rural	F*	0.01	0.00	0.01	0.62	0.84	NA																
		G	0.18	0.00	0.01	0.62	0.00	0.02	NA															
		H*	0.00	0.00	0.68	0.00	0.11	0.00	2E-05	NA														
		I*	0.01	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.01	4.4E-16	NA													
		J*	0.20	0.00	0.14	0.13	0.00	0.07	0.00	9.2E-04	1.1E-08	NA												
		K*	0.00	0.00	0.16	0.94	0.00	0.00	0.02	0.0E+00	6.0E-10	0.00	NA											
		L*	0.53	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	2.7E-15	2.9E-02	0.00	0.02	NA										
		M	0.10	0.00	0.05	0.97	0.08	0.06	7E-08	1.1E-15	0.0E+00	0.00	0.00	0.00	NA									
		N	0.69	0.00	0.34	0.00	0.00	0.01	0	0.0E+00	0.0E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	NA								
	Ao produtor	O	0.16	0.00	0.45	0.06	0.03	0.00	0	8.8E-10	0.0E+00	0.00	0.14	0.00	0.00	6.8E-01	NA							
		P	0.33	0.00	0.60	0.03	0.10	0.71	0	0.0E+00	8.2E-02	0.70	0.00	0.26	0.00	5.6E-03	0.0E+00	NA						
		Q	0.15	0.07	0.55	0.85	0.02	0.72	0.08	1.2E-04	0.0E+00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.8E-06	0.0E+00	9.9E-06	NA					
		R	0.00	0.78	0.38	0.86	0.00	0.00	0	0.0E+00	5.0E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5E-09	NA				
		S	0.01	0.02	0.35	0.00	0.00	0.02	0	0.0E+00	3.1E-03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0E+00	5.8E-15	0.0E+00	3E-11	0.00	NA			
		T	0.59	0.00	0.17	0.00	0.21	0.10	0	8.7E-01	1.6E-02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9E-03	0.00	0.00	NA		
		U*	0.14	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1E-11	2.8E-08	2.3E-02	0.00	0.00	0.00	0.00	7.5E-02	6.1E-02	8.0E-03	0E+00	0.00	0.00	0.00	NA	
		V	0.00	0.00	0.28	0.00	0.96	0.00	0	0.0E+00	8.1E-01	0.00	0.63	0.00	0.00	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-07	0E+00	0.00	0.00	0.00	0.0	NA
		W*	0.47	0.00	0.90	0.28	0.00	0.07	0	0.0E+00	1.4E-02	0.31	0.00	0.00	0.01	1.4E-06	0.0E+00	1.6E-03	0E+00	0.00	0.14	0.00	0.2	0

Variáveis biofísicas e socioeconômicas

A: Declividade (graus)

B: Altitude (m)

C: Índice de Posição Topográfica

D: Distância euclidiana à bordadura dos fragmentos de floresta (m)

E: Distância euclidiana aos cursos d'água (m)

F: Distância euclidiana a estradas (m)

G: Distância euclidiana a áreas urbanas (m)

H: Tamanho da propriedade (ha)

I: Desde que ano o proprietário é dono da propriedade?

J: Número de pessoas que residem na propriedade

K: Número de diferentes coberturas presentes na propriedade

L: Principal produto agrícola produzido na propriedade que é vendido

M: Ocorrência de mudanças drásticas nas atividades agrícolas desenvolvidas na propriedade durante o tempo em que o proprietário leva sendo o dono?

N: Número de cabeças de gado por hectare na propriedade

O: O proprietário mora na propriedade rural atualmente?

P: Nível educativo

Q: Idade

R: O proprietário desenvolve alguma atividade agrícola na propriedade rural?

S: O proprietário incorpora mão de obra familiar nas atividades agrícolas desenvolvidas por ele na propriedade rural?

T: Número de propriedades rurais pertencentes ao proprietário

U: Número de fontes de renda distintas à aquela derivada de atividades na propriedade rural

V: Renda total anual (salários mínimos)

W: Nível de dependência econômica da propriedade rural (%)

Apêndice 4. Curva da Característica de Operação do Receptor (ROC pelas siglas em inglês), utilizada na avaliação do modelo selecionado para analisar a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal observada entre os anos 1995 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento do potencial da regeneração natural em programas de restauração de florestas e paisagens florestais precisa do entendimento dos determinantes das mudanças na cobertura e uso do solo que levam ao estabelecimento de uma floresta por regeneração natural (Chazdon e Uriarte, 2016). A teoria existente sobre as mudanças na cobertura e uso do solo está baseada em alguns princípios gerais derivados principalmente da ecologia da paisagem e da geografia humana (Etter et al., 2006). Esses princípios têm foco no efeito da escala espacial e temporal, e nos padrões e processos que levam às mudanças na cobertura. Destacam também, a importância de uma abordagem multidisciplinar que considere a complexidade que há detrais dessas mudanças (Wu e Hobbs, 2002). Entender e prever as causas das mudanças da cobertura e uso do solo é complexo. Os determinantes biofísicos e socioeconômicos envolvidos podem ser muito variados e operar em várias escalas temporais e espaciais (Etter et al., 2006).

A revisão sistemática de literatura científica realizada neste trabalho de tese permitiu definir um conjunto de fatores biofísicos e socioeconômicos influentes da regeneração de florestas tropicais comuns a todos os estudos considerados. Esses estudos abrangeram áreas geográficas amplas (paisagem, região, em nível nacional ou continental), e na maioria dos casos, utilizaram insumos pouco detalhados que permitiram gerar conclusões sobre os determinantes da regeneração para a escala espacial adotada. Considerando unicamente os fatores socioeconômicos, foram pouco os estudos que analisaram dados sobre fatores demográficos, econômicos ou sociopolíticos influentes da regeneração, e quando considerados, foram obtidos a partir do resultado de censos demográficos realizados no nível de município.

De acordo com os fatores biofísicos reportados na literatura científica, a regeneração de florestas tropicais é favorecida pela maior altitude e declividade, a menor precipitação, a maior proximidade aos fragmentos de floresta e cursos d'água, e a maior cobertura florestal na paisagem. Considerando os fatores socioeconômicos, a regeneração florestal foi mais frequente em áreas sob algum esquema de proteção ambiental e em áreas distantes dos centros populacionais. O registro de um sentido distinto do efeito do fator por mais de um estudo, foi considerado de forma geral como uma inconsistência do efeito do fator na regeneração florestal. Adicionalmente, se propôs comparar o nível de consistência do efeito dos fatores biofísicos e socioeconômicos em diferentes escalas espaciais. No entanto, devido à falta de dados reportados na literatura científica não foi possível chegar a um consenso sobre a consistência dos fatores em diferentes escalas, o que destaca a necessidade de estudos que especifiquem o efeito da escala adotada na dinâmica da regeneração florestal ou que comparem diretamente a influência dos fatores em diferentes escalas. Nossos resultados também mostraram que as metodologias utilizadas para a detecção de áreas em regeneração florestal foram muito variadas e por tanto, a análise do efeito da escala tem que vir acompanhado da criação de um marco conceitual e metodológico similar ao existente para o estudo do desmatamento (e.g. Geist e Lambin, 2001) que facilite a interpretação dos resultados gerados nos estudos sobre regeneração florestal.

A inconsistência geral do efeito dos fatores influentes da regeneração florestal e sua possível relação com efeito de outros fatores contexto-dependentes e que atuam a uma escala espacial mais fina, nos levou a considerar a importância de descrever no nível local a influência de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal. Para isso, utilizamos como modelo de estudo uma paisagem dominada por agricultura no sudeste do Brasil, que experimentou entre 1995 e 2018 um aumento na cobertura florestal, resultado de regeneração natural. A fim de descrever a regeneração florestal observada na paisagem modelo foram considerados os fatores biofísicos e socioeconômicos reportados a aparti da revisão sistemática de literatura. No entanto, alguns foram descartados pela alta correlação que mostraram com outros fatores (e.g. altitude versus proximidade a áreas urbanas) e foram mantidos aqueles com maior relevância para explicar a regeneração florestal na área de estudo (e.g. altitude). Adicionalmente, e a diferença da maioria dos estudos considerados na revisão sistemática de literatura, utilizamos informação socioeconômica detalhada associada ao proprietário e à propriedade rural que foi obtida através de uma pesquisa social.

A partir do estudo da dinâmica da regeneração na paisagem modelo, geramos conclusões gerais sobre o efeito de fatores biofísicos e socioeconômicos na regeneração florestal. Os fatores biofísicos influentes da regeneração florestal e que foram reportados na revisão sistemática de literatura, também estão operando na paisagem modelo. A regeneração florestal foi favorecida pela declividade e a maior proximidade aos fragmentos de floresta e aos cursos d'água. A altitude também influenciou a regeneração florestal, no entanto, teve um efeito contrário a aquele reportado na revisão sistemática de literatura, uma vez que a foi mais frequente a baixas altitudes. Na paisagem modelo, o efeito da altitude esteve relacionado com o histórico de ocupação e a distribuição espacial da agricultura mecanizada, aonde a declividade teve maior relevância no abandono de áreas anteriormente cultivadas de forma manual. A forte associação entre a regeneração florestal e a proximidade aos fragmentos de floresta encontrada tanto na revisão sistemática de literatura quanto na paisagem utilizada como modelo, suportam a ideia de que a recuperação das florestas tropicais depende grandemente da distribuição espacial dos remanescentes de vegetação nativa na paisagem (Helmer, 2000; Chazdon, 2016). Considerado os fatores socioeconômicos, a regeneração florestal na paisagem modelo foi mais frequente em áreas pertencentes a pessoas com uma baixa dependência econômica da propriedade, em propriedades com poucos residentes e com maior variedade de coberturas. Nenhum dos fatores socioeconômicos considerados como influentes na revisão sistemática de literatura, foram relevantes para explicar a regeneração na paisagem modelo, o que leva a pensar que a importância dos fatores associados à regeneração florestal pode variar com a escala espacial de análise (Etter e McAlpine, 2008).

Com base nos resultados desta tese, os fatores biofísicos e socioeconômicos descritos a partir da revisão sistemática de literatura, podem ser considerados no desenvolvimento de modelos preditivos que auxiliem a escolha das áreas mais propensas ao aumento da cobertura florestal em larga escala (i.e. maior declividade, menor precipitação, maior proximidade aos fragmentos de floresta, maior cobertura florestal na paisagem, maior proteção ambiental e menor proximidade aos centros populacionais). Os fatores influentes da regeneração na paisagem modelo, e em particular os fatores socioeconômicos (i.e. nível de dependência econômica da propriedade rural, número de

pessoas que residem na propriedade e número de diferentes coberturas presentes na propriedade), destacam a necessidade de considerar as particularidades de cada lugar para que tanto os modelos preditivos quanto as atividades de restauração que utilizem o potencial da regeneração natural sejam melhor sucedidos. A sustentabilidade do uso da terra na região tropical depende do entendimento da interação homem-natureza, que possa levar tanto a conclusões gerais quanto a predições sobre o manejo dos recursos naturais. Assim, o uso da regeneração natural na restauração de florestas e paisagens florestais é dependente de uma abordagem multiescala e multidisciplinar, que considere tanto os padrões espaciais e temporais de mudanças na cobertura florestal quanto o comportamento humano, refletido no processo de tomada de decisão sobre o manejo dos recursos naturais.

Referências

- Chazdon, R. L. (2016). Renascimento de florestas. Regeneração na era do desmatamento. Oficina de Textos. São Paulo.
- Chazdon, R. L., & Uriarte, M. (2016). Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica*, 48(6), 709-715.
- Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management*, 79(1), 74-87.
- Etter, A., & McAlpine, C. (2008). Modeling Unplanned Land Cover Change across Scales. In *Land Use Change* (Vol. 81, No. 98, pp. 81-98). ROUTLEDGE in association with GSE Research.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What Drives Tropical Deforestation. A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*, (4), 136.
- Helmer, E. H. (2000). The landscape ecology of tropical secondary forest in montane Costa Rica. *Ecosystems*, 3(1), 98-114.
- Wu, J., & Hobbs, R. (2002). Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape ecology*, 17(4), 355-365.