

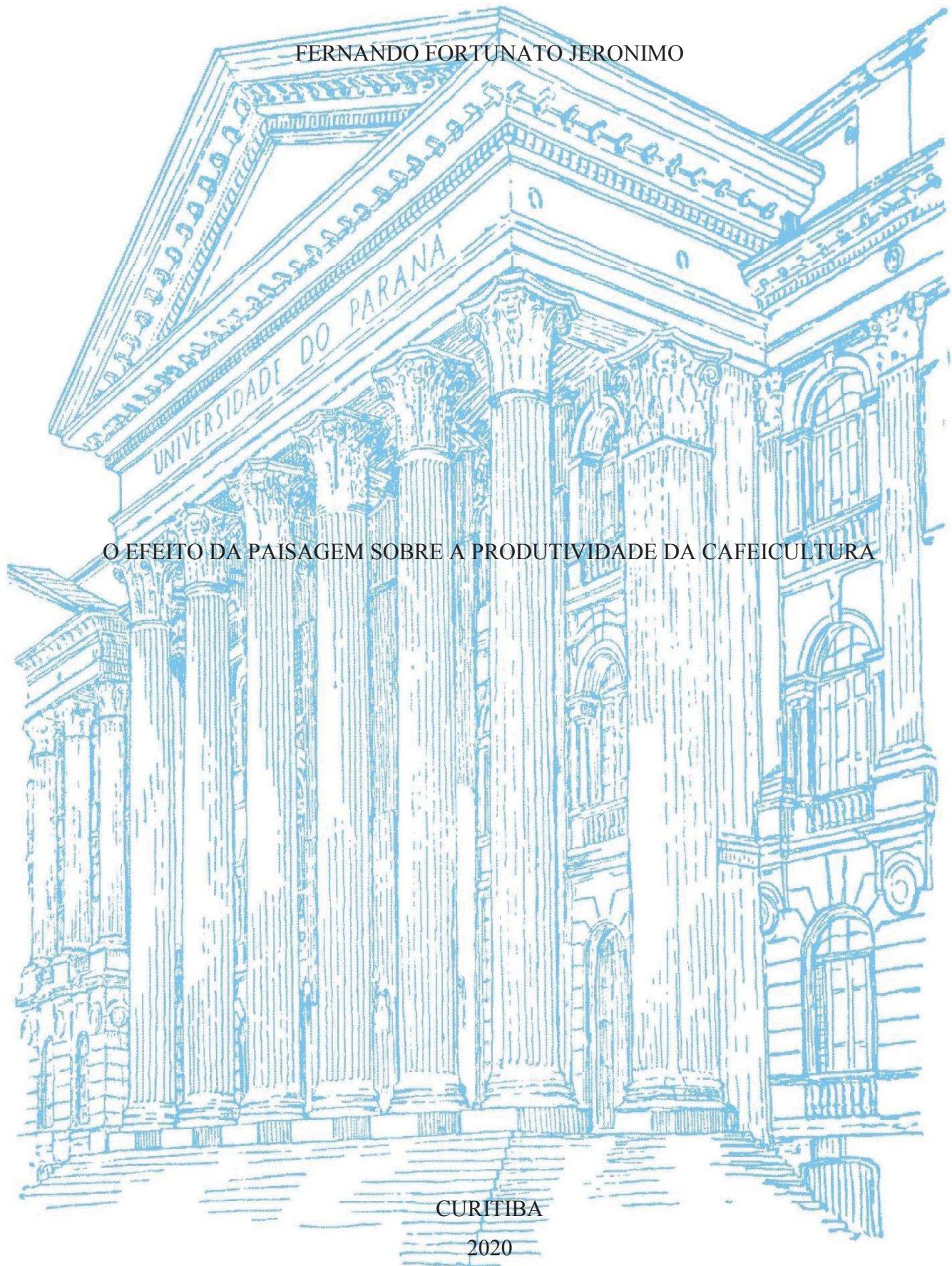
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO FORTUNATO JERONIMO

O EFEITO DA PAISAGEM SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CAFEICULTURA

CURITIBA

2020



FERNANDO FORTUNATO JERONIMO

O EFEITO DA PAISAGEM SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CAFEICULTURA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Conservação, no Curso de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Isabela Galarda Varassin.

CURITIBA

2020

Universidade Federal do Paraná
Sistema de Bibliotecas
(Giana Mara Seniski Silva – CRB/9 1406)

Jerônimo, Fernando Fortunato
O efeito da paisagem sobre a produtividade da cafeicultura. / Fernando
Fortunato Jerônimo. – Curitiba, 2020.
47 p.: il.

Orientadora: Isabela Galarda Varassin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e
Conservação.

1. Agricultura. 2. Café. 3. Biodiversidade - Conservação. 4. Ecologia. I.
Título. II. Varassin, Isabela Galarda. III. Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e
Conservação.

CDD (22. ed.) 571.8642



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO - 40001016048P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FERNANDO FORTUNATO JERONIMO** intitulada: **O efeito da paisagem sobre a produtividade da cafeicultura**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Fevereiro de 2020.

Assinatura Eletrônica

02/07/2020 20:44:47.0

ISABELA GALARDA VARASSIN

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

02/07/2020 19:45:46.0

VINICIUS MARCILIO DA SILVA

Avaliador Interno Pós-Doc (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

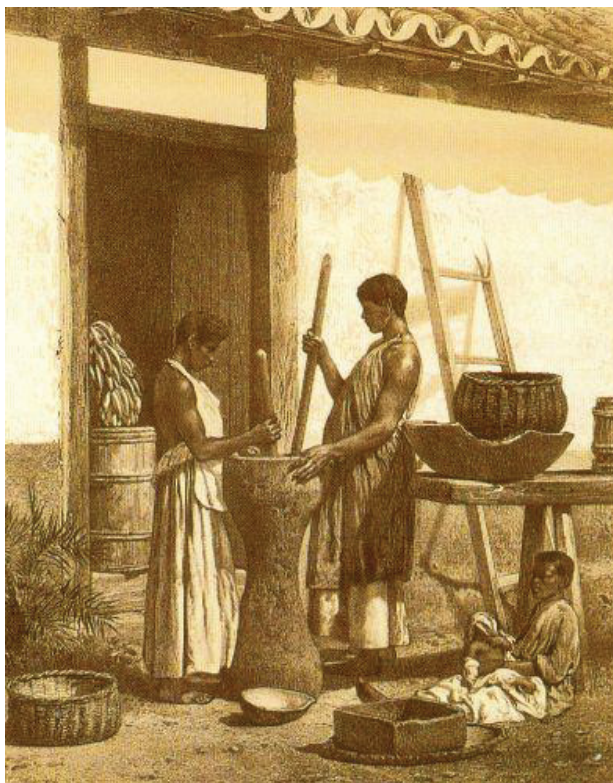
Assinatura Eletrônica

03/07/2020 11:13:26.0

FERNANDA THIESEN BRUM

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

DEDICATÓRIA



Escravos no pilão de café, Victor Frond, fotografia litografada, 1859 (Martins, 2017).

Dedico este trabalho aos homens e mulheres do campo de hoje, que, às vezes mesmo sem direito a um sobrenome, lutam contra as intempéries da natureza e a morosidade dos governantes para garantir o nosso café de todo dia. Também dedico este trabalho aos colonos e pioneiros do passado, que mesmo sendo explorados pelos barões do café garantiram a expansão da produção do café no Brasil.

Mas sobretudo, dedico este trabalho aos homens e mulheres, pretos e pretas, que foram escravizados e tiveram seu suor, sangue e liberdade roubados para que o Brasil fosse o pioneiro e o líder na produção mundial de café, e que hoje são esquecidos. Vocês não enriqueceram com o café, não têm seus nomes em ruas, não têm seus nomes em escolas, tão pouco têm seus nomes em marcas comerciais de café e cafés gourmets Brasil afora. Que um dia nossa nação e o nosso povo brasileiro repare esta dívida histórica com vocês e com seus descendentes.

“O Brasil é café e o café é ~~negro~~ preto”.

AGRADECIMENTOS

Nenhum único trabalho, feito nesse mundo social tecnológico e científico que construímos e vivemos, pode ser feito de maneira individual. Qualquer obra, das esquecidas às citadas mais de 100 anos depois de sua publicação, bem como este trabalho, são construídos com a contribuição de uma complexa rede de pessoas, embora sejam materializados pelas mãos de um pequeno grupo de pesquisadores. Por isso dedico as próximas páginas para agradecer as pessoas e instituições que foram fundamentais na construção deste trabalho e na minha carreira como cientista, e por isso, são tão proprietárias deste conteúdo científico quanto eu.

Aos trabalhadores brasileiros que pagam, da sua preciosa remuneração, os impostos que permitem o funcionamento das instituições públicas de ensino e pesquisa do Brasil.

Aos servidores públicos de toda a Universidade Federal do Paraná que garantem, por meio desta instituição querida, uma imensurável contribuição para o povo brasileiro, fornecendo com excelência, ensino, pesquisa e extensão de forma pública e gratuita.

Aos funcionários terceirizados da segurança, zeladoria, portaria e do restaurante universitário do campus Centro Politécnico, que garantiram a minha segurança, conforto e alimentação durante mais esta etapa.

À Fernanda T. Brum e ao Vinicius Marcílio-Silva, pesquisadores que admiro e que aceitaram a missão de ser banca avaliadora deste trabalho, contribuindo com críticas e sugestões que foram fundamentais para a solidez deste trabalho.

Ao Danilo C. Boscolo, por avaliar o projeto deste estudo e fornecer um valioso retorno que ajudou a dar um encaminhamento mais objetivo aos resultados.

À Marina W. Torres, líder do projeto “Avaliação bioeconômica do serviço de polinização na cafeicultura ao longo de um gradiente de sustentabilidade de métodos de cultivo” do qual emergiu a ideia que compõem esta dissertação.

À Candice M. R. Santos e ao Lucas B. Fernandes (CONAB), por me fornecerem em primeira mão o mapeamento das propriedades de café do Estado do Paraná.

Ao Leandro Thomacheski (UFPR), Cezar F. Araujo Junior (IAPAR), Vauller Furtado (Integrada Cooperativa Agroindustrial), Robson L. B. Ferreira e Mauricio T. Roll (Cocamar Cooperativa Agroindustrial), por intermediar o contato com os cafeicultores.

Aos cafeicultores Breno A. Mazieiro, Claudemir Terracini, Daniel Assad Filho, Edenir Machado, Egon Bertolacini, Evandro Padovessi, Fernando C. Machado, Fernando Ito e família, Guilherme Frasquetti e família, Henrique Sebode e família, Jonas Silva, José Carlos, Leandro Soarez, Marcelo da Luz, Maria D. L. Gomes, Nelson Possetti, Pablo dos Santos, Ricardo Barbosa, Roberto Kono, Roberval A. da Silva, Rogério Pirulo, Severino I. do Nascimento, Tiago Silveira, Vicente R. dos Santos, pela confiança e disponibilidade durante as entrevistas e pela contribuição com informações que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Em especial agradeço ao Renato S. Marcantônio (Viveiro Saragoça) por compartilhar seu conhecimento singular sobre a lida nos campos de café e sobre a cultura cafeeira, além de sua estimada família pela hospitalidade incondicional e fraternal.

À Jaqueline Paes que me auxiliou com muito empenho nos campos de café e que me proporcionou a experiência inédita de comer uma formiga com sabor de capim-limão.

Aos professores Eduardo C. dos Santos, Gabriel A. R. de Melo, João M. Fogaça, Rodrigo B. Gonçalves e Rodrigo S. M. Feitosa que contribuíram com o empréstimo de materiais para a realização dos trabalhos em campo e com suas expertises na identificação dos visitantes florais do café.

À Alexandra Elbakyan, fundadora do Sci-Hub, pelo papel fundamental na democratização do conhecimento científico que viabiliza um progresso mais célere da ciência.

Ao Professor André A. Padial e à Secretária Fabiana C. Rabello, em nome de toda a equipe do Programa de Pós-graduação em ecologia e Conservação (PPGECO), que me forneceram uma formação de absoluta qualidade mesmo frente a um cenário não muito favorável para a educação e para a pesquisa no Brasil.

Aos professores James J. Roper, Jean R. S. Vitule, Karla M. Campião, Lucélia Donatti, Marcio R. Pie, Marcos B. Carlucci, Maritana M. Prodocimo, Rosana M. Rocha e Sabrina B. L. Araújo do PPGECO, que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação enquanto Ecólogo, através de suas pesquisas, disciplinas e palestras

inspiradoras. Em especial agradeço aos professores Luiz F. Fávaro, Marcia Cristina M. Marques e Mauricio O. Moura, conversar com vocês sobre assuntos externos à academia me fez ver o lado mais humano e, portanto, o mais importante, que a academia tem a oferecer para a sociedade.

Aos meus amigos e colegas da turma de pós-graduação de 2018 Ana Carolina P. de Souza, Ana Paula Cardozo, Augusto L. da Silveira, Cauê P. Teixeira, Felipe Saad, Licet Fernanda C. Trochez, Lucicleide A. Silva, Luís P. Alves, Michelle Z. Páez, Rafael O. Fratoni, Rafael S. A. Kitamura, Victor A. S. Penha. Por todos os momentos de aprendizado em que escolhemos sorrir abraçados. Em especial agradeço aos “*tiês-de-sangue*” Fares R. Guarin e Pedro O. Calixto pela amizade e companheirismo que excederam o extraordinário.

Aos meus amigos da pós-graduação Fabielle P. dos Santos, Francisco Grotta Neto, Gabriel M. De La Torre, Laura M. Schaedler, Luis H. Varzinczak, Pedro H. L. Ribeiro e Stephanie C. Schubert, pelas conversas que sempre flutuaram do mais superficial ao mais profundo da nossa vida acadêmica, sempre me ensinando novas perspectivas da vida na ciência e da vida nas mesas do Seu Nilson.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do Laboratório de Ecologia Vegetal, Gabriel M. Inague e Tamires M. Burda, e do Laboratório de Síntese Biológica, Gabriel P. Custódio, Gabriela A. Valentim, Letícia S. Bora, Lorena M. Antonio e Mateus P. B. dos Santos, por me proporcionarem um ambiente de trabalho saudável, carinhoso e produtivo. Em especial, agradeço a Ana Paula Lula Costa, Lorraine L. Cavalcante e Vanessa Vlnieska, por serem fontes de força conforto em momentos de aflição.

Aos meus Irmãos e Irmãs, Hermanas y Hermanos do Laboratório de Interações e Biologia Reprodutiva, Alejandro R. González, Anali Bustos, Andrea V. N. Orellana, Luciele L. Romanowski e Rafael de Oliveira, que sempre carinhosos e *muy caliente* me ajudaram de todas as formas possíveis, com apoio técnico, discussões, torcida e frequentemente com seus abraços amorosos.

Aos meus ex-orientadores Fernando A. Sedor e Erasto Villa-Branco Junior que me acompanham a cada passo, sempre me ensinando cada vez mais sobre a vida e sua evolução. Também agradeço aos amigos que fiz no Museu de Ciências Naturais Guilherme A. Rosa, Helena Ody, Isabela S. Kropiwiec, Jonathan R. A. Molina, Rafael F. S. Cintra, Sofia P. Batistella e Thiago Carlisbino, com quem compartilhei momentos

inesquecíveis neste espaço tão importante durante minha preparação para o ingresso no mestrado.

Ao Lama Padma Satmen e ao instrutor de meditação Milton Sato, em nome de toda à Sanga do Centro de Estudos Budistas Bodisatva e ao Mestre Auro V. Rodrigues Junior, em nome da Escola de Artes Marciais Rodrigues Taekwondo, que foram locais fundamentais para o estabelecimento de um equilíbrio físico e mental me permitindo enfrentar os desafios do mestrado com saúde, disciplina, clareza e felicidade.

Aos meus amigos de sempre Drielle P. dos Santos, Edson A. Machado, Flávia Knaut, Gleyton R. da Silva, Vandelise V. Schumack, Diego Benevenuto, Maicon Vechi, Guilherme V. Gregol, Leonardo P. Bueno, Luis H. Cardoso, Luana Viana, Mayara S. Rodrigues, por serem o que há de melhor em mim e compreenderem com muita compaixão minhas várias ausências ao longo deste período. Em especial agradeço ao Augusto C. Colombo, que me ajudou inúmeras vezes com as análises estatísticas e com discussões científicas, geopolíticas e históricas que duravam além das cinco horas da madrugada, à Carolina Cafisso Bueno, que sempre me ajudou com prontidão em dúvidas relacionadas aos *“Insetos do Brasil”*, e ao Leonardo S. Carneiro, que cuidou de mim com suas receitas certas, em todas as vezes que meu corpo cedeu ao estresse, cansaço ou doenças sazonais.

Ao Luan S. Passos, meu estimado amigo e irmão na luta por uma ciência de relevância científica e social. Obrigado por toda ajuda nos campos de café que foram desde a coleta dados até a resolução dos enigmas fenológicos do café. Todas nossas conversas e discussões, pessoais e profissionais, entre as viagens e a rotina de trabalho, me fizeram ter uma visão mais ampla do mundo natural e do nosso pertencimento a ele.

À Luana W. de Almeida, minha amiga desde a graduação e irmã na luta por uma vida acadêmica que concilie qualidade de trabalho e qualidade de vida. Agradeço a ti por sempre estar do meu lado e me puxar de volta quando eu pensei em desistir. Você é a maior responsável por eu ter chegado ao fim desta jornada e por ter acreditado que eu poderia dar continuidade a ela.

Aos meus familiares que sempre me deram estrutura, carinho e reconhecimento. Em especial agradeço a minha Tia Cláudia P. do Nascimento por ser meu exemplo de realização pessoal e profissional por meio da dedicação nos estudos e ao meu Tio Robson Fortunato por ser desde sempre meu exemplo de integração do homem com a natureza. Aos meus irmãos Fábio F. Jeronimo e Pamela C. F. Jeronimo que compartilharam comigo os mais tranquilos e os mais turbulentos momentos da vida, sempre me ensinando e cuidando de mim. Ao meu sobrinho, Miguel Jeronimo, que diariamente me ensina sobre a responsabilidade e o prazer de ser tio, e que me orgulha diariamente.

Ao meu Pai Rosélio Jeronimo, e à minha Mãe Regina F. Jeronimo, que sempre me deram tudo. Obrigado por me darem sempre o máximo de vocês independente do sacrifício, porque tudo que realmente importa para mim é saber que vocês sempre estarão aqui por mim. Amo vocês incondicionalmente.

Ao Israel S. C. Lima, meu irmão acadêmico mais velho e que vou levar para a vida, que sempre surgiu com uma solução elegante quando eu entrava em becos científicos sem saída e por sempre me disponibilizar sua amizade fraterna e sincera. Obrigado pela coorientação informal, mas sempre presente e eficiente, e por todas as discussões e sugestões que me levaram a concluir este trabalho.

À Thais B. Zanata, que é minha maior referência acadêmica e me ensinou que temperando amor e foco podemos fazer Ciência com significado. Obrigado por estar sempre presente e desempenhar uma infinidade de papéis na minha vida nesses dois anos, sendo minha colega, orientadora, amiga, terapeuta e companheira. Agradeço à toda impermanência cósmica que fez o seu caminho cruzar com o meu e me ajudou a me reconstruir como homem e cientista. Amo você bichinha, “ai que saudade d’ocê”.

À Isabela G. Varassin, pela orientação impecável, sempre me dando segurança, liberdade, foco e confiança. Passar por uma etapa complexa da vida acadêmica como é o mestrado, com trabalho intelectual exaustivo, críticas severas, recursos escassos, prazos apertados e autocobrança se torna um caminho suave quando temos alguém com compaixão e empatia para nos guiar. Obrigado por sempre me oferecer sua humanidade e compreensão antes das broncas, por isso escolhi ter a melhor orientadora do mundo por mais quatro anos.

Por fim, à minha eterna Professora Zoraida Garcia Labadie, que deixou o plano físico no dia 17 de novembro de 2019, mas habitará para sempre o coração de cada um dos milhares de alunos que passaram por suas zelosas mãos e tiveram suas vidas transformadas por meio do esporte. Em minha vida e carreira, além de ter sido professora e treinadora de atletismo, sempre será uma peça fundamental, pois ela foi a primeira pessoa que tenho memória que olhou nos meus olhos e me disse que eu poderia fazer uma faculdade, acreditando e sonhando este sonho junto comigo. Hoje estou aqui, entregando minha dissertação do mestrado, pois com ela aprendi um dos principais valores que carrego na vida: tudo bem falhar de vez em quando, o mais importante é se tornar uma pessoa melhor a cada dia. Te encontro depois da linha de chegada, no degrau mais alto do pódio, que é ao lado dos amigos!

“Se você quiser pensar na razão de os humanos serem tão perigosos para as outras espécies, imagine um caçador clandestino na África carregando seu AK-47, ou um madeireiro na Amazônia empunhando seu machado, ou, melhor ainda, pode imaginar a si mesmo com um livro nas mãos”

Elizabeth Kolbert
A Sexta Extinção (2015)

RESUMO

A agricultura é uma das atividades humanas mais dependentes dos recursos naturais, e por isso é uma das atividades de grande impacto negativo sobre a biodiversidade, a exemplo a cafeicultura. Apesar do impacto negativo da cafeicultura sobre a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos apresentam influência positiva sobre as safras de café em termos de quantidade e qualidade através da polinização e do controle de pestes. Por sua vez, o funcionamento destes serviços apresenta um viés espacial, onde a paisagem é uma escala chave para compreender os mecanismos pelos quais estes serviços funcionam. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi compreender como a estrutura da paisagem, através da intensidade do impacto antrópico, diversidade, isolamento e cobertura de vegetação nativa, influencia a produtividade do café. Secundariamente buscamos compreender como alguns aspectos do manejo podem influenciar esta produtividade. Para isso cruzamos dados de uso do solo com dados de recenseamento de propriedades e municípios produtores de café do Estado do Paraná, região Sul do Brasil. A partir destes dados, realizamos análises de seleção de modelos (GLM) que foram ordenados segundo o critério de informação de Akaike de segunda ordem (AICc). Para a análise, métricas de paisagem, correspondentes aos parâmetros selecionados, foram utilizadas como preditoras da produtividade do café em termos de produção por área e rendimento por saca. Os resultados indicaram que a produtividade de café por área das propriedades é influenciada negativamente pela intensidade de manejo na paisagem no raio de 3km. A diversidade da paisagem influencia positivamente a produção do café também no raio de 3km. No nível municipal a interação entre a diversidade da paisagem e a cobertura vegetal influenciou positivamente a produtividade de café. Por outro lado, não encontramos efeitos do manejo sobre a produtividade por área em nível de propriedade ou efeitos da paisagem sobre o rendimento por saca em nível municipal. Os resultados corroboram a hipótese de que a estrutura da paisagem influencia a produtividade do café. Assim a estrutura de elementos naturais em paisagens de matriz agrícola foi essencial para um melhor funcionamento da cafeicultura. Deste modo, concluímos que adotar ações de manejo na escala de paisagem tornam a cafeicultura mais sustentável, resguardando a conservação da biodiversidade e a saúde produtiva e econômica do setor cafeicultor.

Palavras-chave: agricultura, café, conservação da biodiversidade, ecologia de paisagem, serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

Agriculture, such as coffee growing, is one of the human activities most dependent on natural resources, and for this reason, it is one of the activities with a great negative impact on biodiversity. Despite the negative impact of coffee production on biodiversity, ecosystem services have a positive influence on coffee crops in terms of quantity and quality through pollination and pest control. In turn, the functioning of these services has a spatial bias, where the landscape is a key scale for understanding the mechanisms by which these services work. In this context, the objective of this study was to understand how the landscape structure, through the intensity of the anthropic impact, diversity, isolation, and cover of native vegetation, influences the coffee crop. Secondly, we sought to understand how some aspects of management can influence this productivity. Therefore, we analyzed data on land use and data from a census of coffee producing properties and cities in the State of Paraná, southern Brazil. From these data, we performed model selection analyzes (GLM) that were ordered according to the second order Akaike information criterion (AICc). For the analysis, landscape metrics, corresponding to the selected parameters, were used as predictors of coffee productivity in terms of yield and profit. Our results indicated that coffee productivity by area of each property is negatively influenced by the intensity of management in the landscape within a radius of 3km. The diversity of the landscape positively influences coffee production also within a 3 km radius. At the city level, the interaction between landscape diversity and native vegetation coverage has shown to be positively influential. On the other hand, we found no effects of management on yield at property level or effects of the landscape on profit at cities level. Our results corroborate the hypothesis that the landscape structure influences coffee productivity. Thus, the structure of natural elements in agricultural landscapes was essential for a better coffee yield. Thus, we conclude that adopting management actions on the landscape scale makes coffee growing more sustainable, safeguarding biodiversity conservation and the productive and economic health of the coffee industry.

Key words: agriculture, biodiversity conservation, coffee, ecosystem services, landscape ecology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Descrição das hipóteses e predições verificadas.....	15
Figura 2 Mapa do limite norte do estado do Paraná.....	18
Figura 3 Exemplo de recortes para cálculo das métricas de paisagem.....	20
Figura 4 Variação da produtividade do café (sacas/ha) por propriedade em função do impacto antrópico na paisagem (A) e da diversidade da paisagem (B).....	25
Figura 5 Variação da produtividade do café (sacas/ha) por município em função da diversidade da paisagem e da cobertura vegetal.....	26
Figura S1 Classificação do uso do solo nas regiões Noroeste, Norte-Central e Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	43
Figura S2 Autocorrelação espacial das propriedades.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Expectativa da safra de café 2017/2018.	16
Tabela 2 Efeito das variáveis preditoras utilizadas nas análises	24
Tabela 3 Modelos das hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) por propriedade.....	25
Tabela 4 Modelos das hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) e rendimento (reais/saca) por município.....	26
Tabela 5 Modelos das hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) em função do método de manejo empregado na propriedade.....	27
Tabela S1 Cobertura do solo nas regiões Noroeste, Norte-Central e Norte Pioneiro do estado do Paraná.....	43
Tabela S2 Análise de correlação das variáveis preditoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/área por propriedade.....	44
Tabela S3 Análise de correlação das variáveis preditoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/intensidade de manjo por propriedade.....	45
Tabela S4 Análise de correlação das variáveis preditoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/área por município.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1. Objeto de estudo.....	16
2.2. Levantamento de dados e questões éticas	16
2.3. Área de estudo e unidades amostrais	17
2.4. Classificação do uso do solo	19
2.5. Métricas de paisagem.....	19
2.6. Análises estatísticas.....	20
3. RESULTADOS.....	23
3.1. Gerais	23
3.2. Seleção de variáveis e escala de efeito.....	23
3.3. Efeito da estrutura da paisagem sobre a produtividade do café	24
3.4. Efeito do manejo sobre a produtividade do café.....	27
4. DISCUSSÃO	28
4.1. Efeito da estrutura da paisagem sobre a produtividade do café.....	28
4.1.1. Intensidade de impacto na paisagem.....	28
4.1.2. Diversidade da paisagem.....	29
4.1.3. Isolamento de fragmentos de floresta nativa.....	30
4.2. Efeito do manejo sobre a produtividade do café.....	31
4.3. Importância para a conservação dos serviços ecossistêmicos e para a cafeicultura.....	32
4.3.1. A estrutura da paisagem, os serviços ecossistêmicos e a segurança alimentar.....	32
4.3.2. Os dados de censo e recenseamento aplicados na conservação dos serviços ecossistêmicos para a cafeicultura	33
5. CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS	41
Anexo A: questionário aplicado aos cafeicultores.....	41
Anexo B: classificação do uso do solo do limite norte do estado do Paraná....	43
Anexo C: análises estatísticas complementares	44
FINANCIAMENTO	47

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das atividades humanas de maior relevância para a sobrevivência da espécie humana, mas sua intensificação é reconhecida por seu impacto sobre a biodiversidade (Tschardt et al., 2012a). Este impacto emerge principalmente da conversão de paisagens naturais complexas em paisagens agrícolas que são ecologicamente simplificadas e têm sua funcionalidade reduzida (Tschardt et al., 2005). Somado a isso, com o avanço tecnológico na indústria agroquímica, uma miríade de pesticidas são introduzidos e permanecem no ambiente contaminando, direta e indiretamente, recursos e espécies que dependem destes recursos (Khan et al., 2010). Através da sinergia entre a simplificação ecológica das paisagens e da introdução de pesticidas no ambiente, a intensificação da agricultura tem proporcionado uma ameaça à biodiversidade alterando a funcionalidade dos ecossistemas (Allan et al., 2015). Além disso, há um considerável aumento na taxa de mortalidade tanto em espécies-alvo dos pesticidas quanto em espécies não alvo e que desempenham um papel positivo para agricultura, como são os polinizadores e os predadores de pragas agrícolas (Hallmann et al., 2014; Goulson et al., 2015; Rösch et al., 2015). Os impactos da agricultura sobre a biodiversidade não se restringem apenas à fragmentação de habitat e à redução de populações de espécies nativas, mas também desencadeiam efeitos colaterais sobre a indústria agrícola. Com a redução ou perda dos serviços ecossistêmicos fornecidos por estas espécies, muitos cultivos dependentes destes serviços podem sofrer com reduções em suas safras (Rush et al., 2016; Grab et al., 2019).

Dentre os serviços ecossistêmicos que tem a maior contribuição para a agricultura estão a polinização e o controle de pragas agrícolas. Estes serviços regulatórios têm influência direta sobre a produtividade de uma grande diversidade de cultivos (IPBES, 2019). Os serviços de polinização e controle de pragas proporcionam tanto safras maiores através do incremento na produção, quanto safras com maior valor agregado devido à melhora da qualidade dos produtos gerados (IPBES, 2017, 2019). Por um lado, a polinização cruzada intermediada por animais tende a incrementar a taxa de frutificação pois aumenta o vigor dos frutos formados, e em termos comerciais frutos e sementes maiores, mais saborosos e atrativos (Hoehn et al., 2008). Da mesma forma, há redução no número de frutos abortados por mecanismos de autoincompatibilidade polínica (Roubik 2002; Garibaldi et al., 2013). Por outro lado, muitos cultivos produzidos de forma intensiva são atacados por pragas agrícolas, que podem desencadear desde a produção de

frutos e sementes de má qualidade até a perda integral da safra (Oliveira et al., 2014). Neste contexto, animais predadores de pestes agrícolas têm um papel regulador fundamental para a agricultura, reduzindo a incidência de pestes nos cultivos (Mass et al., 2015). Com isso, garantem que uma menor porcentagem da produção seja afetada por predadores e parasitos das plantas cultivadas (Mass et al., 2015).

Dentre os cultivos agrícolas que se beneficiam dos serviços ecossistêmicos supracitados está o café (Classen et al., 2014). O café é um dos recursos agrícolas de maior circulação no mercado mundial e de grande importância cultural para a humanidade (Folmer, 2017). Embora o cafeeiro arábico seja uma planta essencialmente autogâmica, sua polinização também ocorre por intermédio de insetos polinizadores, que podem controlar até 36% da sua produção (Roubik, 2002). Além disso, a polinização realizada por insetos também pode levar ao incremento da produção através da formação de frutos de melhor qualidade com frutos e sementes maiores e mais pesados (Classen et al., 2014). As abelhas (Apidae) são as maiores responsáveis pelo fornecimento do serviço ecossistêmico de polinização para a cafeicultura, com sua contribuição estimada em R\$7,25 bilhões no ano de 2015 para a produção brasileira (Giannini et al., 2015). O cafeeiro também é afetado por predadores invertebrados considerados pragas agrícolas (Oliveira et al., 2014). Dentre as pragas mais recorrentes no Brasil e com maior impacto na produção do café estão os insetos: cigarra-do-cafeeiro (*Quesada gigas*: Cicadidae), o bicho-mineiro (*Perileucoptera coffeella*: Lyonetiidae) e a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*: Scolytinae) (Mesquita et al., 2016), sendo o dano desta última estimado em R\$504,18-839,51 milhões no ano de 2013 (Oliveira et al., 2013). Essas pestes podem ser controladas por aves insetívoras, levando ao incremento da produção de café em termos de quantidade e qualidade (Classen et al., 2014).

No cenário atual, a agricultura ocupa uma ampla proporção do solo, proveniente da conversão de paisagens naturais, e apresenta uma dependência evidente dos serviços ecossistêmicos (Tschardt et al. 2005; Costantini et al., 2014). Tendo em vista esta relação dualística da agricultura com elementos da paisagem natural, atuando como beneficiária dos serviços ecossistêmicos, mas também como ameaça aos serviços ecossistêmicos, a compreensão da estrutura da paisagem tem sido considerada um ponto fundamental para o estabelecimento de uma agricultura mais sustentável (Tschardt et al. 2005). Nesta perspectiva, a cafeicultura é um excelente modelo para o estudo dos efeitos da estrutura da paisagem sobre os serviços ecossistêmicos. Além disso, sua produtividade é monitorada sistematicamente por órgãos governamentais, que geram bancos de dados

critérios e com ampla cobertura espacial e temporal (IBGE, 2017; CONAB, 2018). Isso torna possível detectar padrões espaciais dos parâmetros da paisagem que tenham algum tipo de influência sobre a produtividade. Com isso, é possível gerar informações aplicadas para a agricultura e conservação da biodiversidade, assim como para o estabelecimento de áreas mais adequadas a partir da demanda dos cultivos e áreas chave para conservação dos serviços ecossistêmicos.

Sob o panorama apresentado, o objetivo neste estudo é compreender como a estrutura da paisagem influencia a produtividade do café em propriedades e municípios produtores de café, localizados no estado do Paraná, região sul do Brasil. Assim, este estudo parte da premissa de que a influência da paisagem sobre a produtividade é intermediada pelos serviços ecossistêmicos de polinização e controle de pragas, mantidos por esta estrutura. Assim, foi verificado como diferentes parâmetros da paisagem, em suas escalas de maior efeito, influenciam a produtividade de café em termos de rendimento por área e rendimento monetário, a partir de uma abordagem de múltiplas hipóteses (Figura 1).

Ao todo, foram testadas quatro hipóteses (H1-H4) para verificar a relação entre elementos estruturais da paisagem e a produtividade do cultivo de café, confrontadas com uma hipótese nula (H0) de que não haveria efeito destes elementos sobre a produtividade do café. A primeira hipótese (H1) prevê que quanto maior impacto antrópico mensurado na paisagem, menor será a produtividade das propriedades inseridas na paisagem devido à redução no fornecimento deste serviço. De fato, o impacto antrópico em paisagens agrícolas é reconhecido por afetar negativamente a diversidade de espécies polinizadoras do café (Hipólito et al., 2018). A segunda hipótese (H2) prevê que o aumento na diversidade das classes da paisagem levará ao incremento na produção do café. Foi observado que a heterogeneidade da paisagem, dada pela diversidade e pela configuração dos elementos que a compõem, pode levar ao incremento biodiversidade (Farigh et al., 2011), o que pode desdobrar sobre os serviços ecossistêmicos mantidos por esta biodiversidade. Como as espécies que provêm os serviços de polinização e de controle de pragas para a cafeicultura dependem de recursos provenientes da estrutura vegetal presente na paisagem (Hoehn et al., 2010; Karp et al., 2013) é esperado que estes serviços sejam modulados pela estrutura vegetal nativa na paisagem. A terceira hipótese (H3) prevê que a produtividade do café deve ser incrementada em propriedades inseridas em paisagens com maior cobertura de vegetação nativa. Isso é esperado pois áreas de habitats maiores são capazes de suportar maior biodiversidade (Farigh, 2013). A quarta hipótese

(H4) prevê que quanto maior o isolamento entre os fragmentos de vegetação nativa, menor será o acréscimo da produção de café. Tendo em vista que propriedades de café inseridas em matrizes com vegetação menos isoladas e mais próximas da propriedade são mais visitadas por polinizadores (Ricketts et al., 2004) e aves insetívoras (Karp et al., 2013), é esperado que o menor isolamento de fragmentos de vegetação nativa leve ao incremento da produção. Além disso, foi testada uma quinta hipótese (H5), a qual prevê que quanto menor a intensidade de manejo (calculada por um índice apresentado neste estudo) maior a produtividade das propriedades, uma vez que o manejo adotado nas propriedades (Boreaux et al., 2013), a idade e diversidade de cultivares (EMBRAPA, 2017) podem influenciar a produtividade das propriedades.

Hipótese	Descrição	Representação
H0	A produtividade do café é independente da estrutura da paisagem.	
H1	A produtividade do café diminui com o aumento da intensidade de impacto na paisagem.	
H2	A produtividade do café aumenta com o aumento da diversidade da paisagem.	
H3	A produtividade do café diminui com o aumento do isolamento de fragmentos de vegetação nativa.	
H4	A produtividade do café aumenta com o aumento do percentual de vegetação na paisagem.	

Figura 1 Hipóteses da relação esperada entre a variável resposta, produtividade do café (eixo Y), e as variáveis predictoras dadas pelos parâmetros da paisagem (eixo X). Em H0 o termo “estrutura da paisagem” indica de forma genérica o somatório de efeitos dos diferentes parâmetros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Objeto de estudo

O café arábica (*Coffea arabica*) é um arbusto pertencente à família Rubiaceae e nativo das terras altas no sudeste da Etiópia (Clifford et al., 2012). Atualmente é cultivado no chamado cinturão do café, que abrange países localizados na região tropical, sendo o Brasil o maior produtor e exportador do grão, responsável por cerca de 40% do café consumido no mundo (FAO, 2016). Com a produção de 2018 estimada em 45,9 milhões de sacas, em média 32,2 sacas por hectare, o café arábica é a variedade que corresponde a 76,7% de todo o café produzido no país (CONAB, 2018; Tabela 1). Tradicionalmente o café é cultivado sob sombra de árvores nativas fixadoras de nitrogênio, todavia o modelo convencional atual é caracterizado por um manejo mais intensivo, com utilização de fertilizantes, pesticidas e maquinários (Jha et al., 2010).

Tabela 1 Estimativa da safra de café 2017/2018, segundo a CONAB (2018). Para os Estados estão representados os percentuais relativos da produção de cada variedade e na totalidade. Em nível nacional está representado o percentual total da produção de cada variedade.

Estado	<i>C. arabica</i>		<i>C. canephora</i>		Total	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
MG	1.824.000	68,5	20.148	2,50	1.844.148	53,00
ES	270	10,10	498	60,80	768	22,10
SP	366	13,70	0	0,00	366	10,50
BA	108	4,10	162	19,80	270	7,80
RO	0	0,00	132	16,10	132	3,80
PR	66	2,50	0	0,00	66	1,90
RJ	20.76	0,80	0	0,00	20.76	0,60
GO	9.054	0,30	0	0,00	9.054	0,30
MT	60	0,00	6.336	0,80	6.396	0,20
AM	0	0,00	420	0,10	420	0,00
BRASIL	2.663.874	76,50	818.904	25,50	3.482.778	

2.2. Levantamento de dados e questões éticas

Os dados de produtividade por propriedade utilizados neste estudo foram obtidos a partir de um questionário aplicado a 50 cafeicultores do estado do Paraná, dos quais 23 retornaram com as informações dentro dos critérios estabelecidos. Os dados foram triados e apenas informações de propriedades com no mínimo 1ha de café arábica já produtivo

para o ano de 2018 foram utilizados. As questões presentes no questionário trataram da experiência do agricultor com cultivo de café, método de cultivo utilizado na produção de café e características econômicas, físicas e geográficas da propriedade (Anexo A). Para aplicação do questionário o projeto desta pesquisa foi submetido à apreciação ética do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/SD) da Universidade Federal do Paraná, e aprovado sob o CAAE: 13366919.2.0000.0102.

Os dados de produtividade por município foram obtidos a partir do senso agropecuário de 2017 (IBGE, 2017). Para as análises foram utilizadas informações dos 11 municípios nas quais as 23 propriedades estão distribuídas. A estas foram somadas as informações de mais 19 municípios sorteados, totalizando uma amostra de 30 municípios. Apenas municípios com mais de 50 propriedades de café arábica foram incluídos no sorteio. Para os municípios amostrados, foram extraídas do censo as variáveis produção, área de café colhida (hectares) e renda obtida da produção (reais).

2.3. Área de estudo e unidades amostrais

Este estudo foi realizado em propriedades de cultivo de café arábica distribuídas nas regiões do Noroeste, Norte-Central e Norte Pioneiro, situadas no limite norte do estado do Paraná, região Sul do Brasil (limites: 23°05'16.0"S, 50°55'13.6"O; 23°24'45.6"S, 49°39'33.1"O; 24°08'18.6"S, 51°30'31.9"O; 23°53'24.9"S, 52°36'51.9"O; Figura 2a). Para a análise no nível municipal foram incluídos municípios localizados nas regiões Centro-Occidental e Oeste do estado (Figura 2b).

As unidades amostrais estão localizadas no bioma da Mata Atlântica, em uma região caracterizada pelo domínio climático subtropical úmido (Cfa) e temperado oceânico (Cfb), com domínio fitogeográfico de florestas ombrófila mista e estacional semidecidual, e elevação média de 652,565m ($\pm 121,794$). A região onde as unidades amostrais estão localizadas correspondem atualmente a uma faixa de intensa atividade agropecuária com destaque para a produção de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), compondo uma matriz coberta por 85,09% de terras destinadas para agropecuária, sendo 10,99% a cobertura de vegetação nativa (Figura S1; Tabela S1 – Anexo B).

O estado do Paraná que já liderou produção de café hoje ocupa a sexta posição no ranque (Tabela 1), com 66.000 toneladas estimadas para a safra 2017/2018 e aproximadamente 22.000 propriedades produtoras ocupando cerca de 0,40% do solo destinado à agricultura no Paraná (IBGE, 2016; CONAB, 2018; Tabela 1). Este declínio

da produção no estado foi causado principalmente por eventos de geadas intensas nas décadas de 70 a 90 que inviabilizaram parte considerável da produção (IBGE, 2003; IBGE, 2016). A migração regional do cultivo de café dentro do estado do Paraná também é evidente com um domínio das regiões Oeste e Centro-Oeste até a década de 1980 e a posterior migração para as regiões do Norte-Pioneiro e Norte-Central, regiões que hoje lideram a produção do estado, com destaque para os municípios da região metropolitana de Londrina (IBGE, 2003; IBGE, 2017).

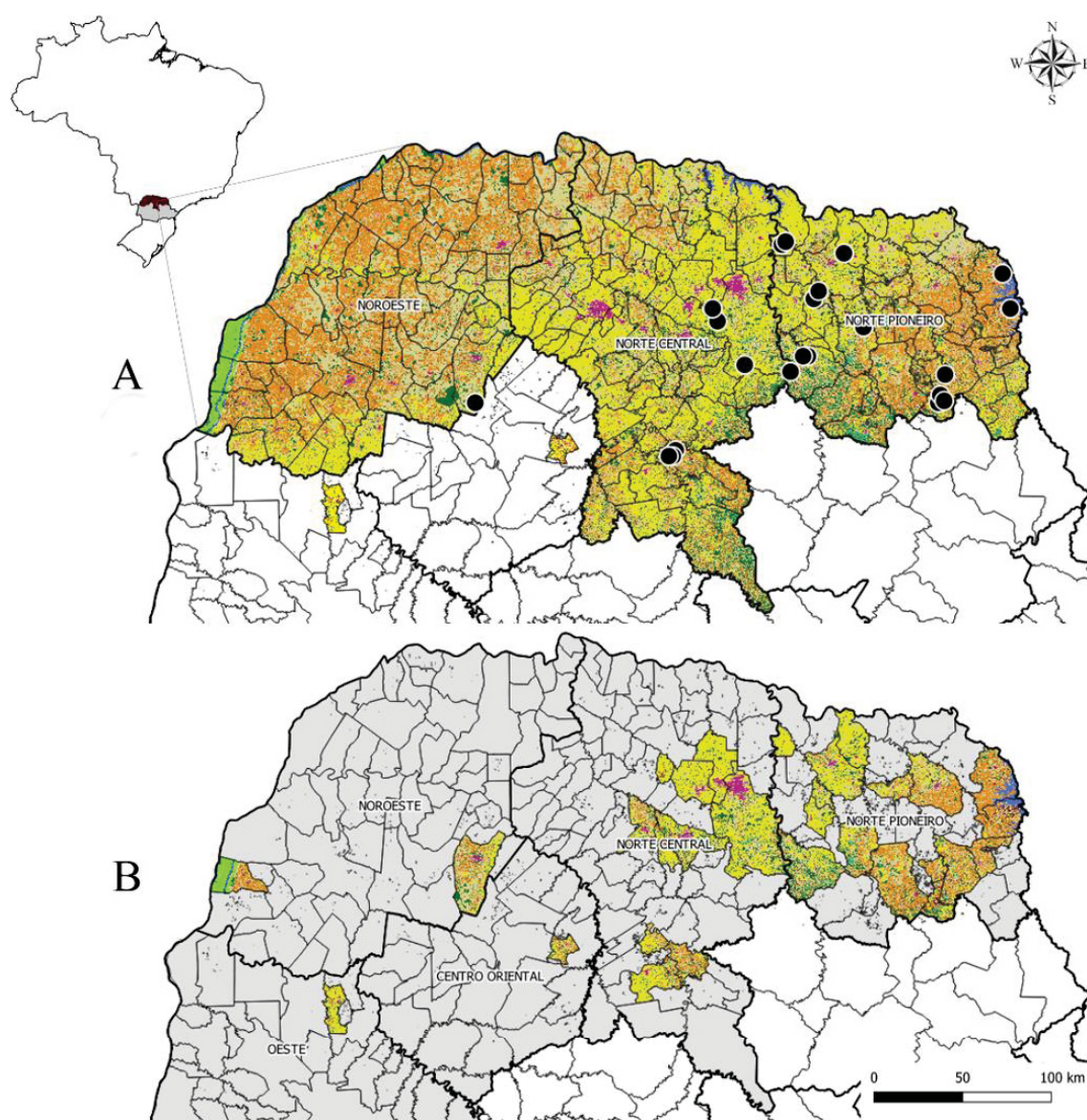


Figura 2 Mapa do Norte do estado do Paraná. As linhas pretas indicam os limites municipais. As linhas em negrito indicam os limites mesorregionais. Em cinza as mesorregiões em que o estudo foi realizado. Alaranjado e amarelo = classes de paisagem ocupadas por agropecuária; verde = vegetação; rosa = infraestrutura urbana, azul = corpos d'água. Ver legenda completa da classificação do uso do solo em Anexo B. **A:** localização das propriedades de café amostradas (círculos pretos). **B:** localização dos municípios produtores de café amostrados (limites classificados).

2.4. Classificação do uso do solo

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a classificação de uso de solo da coleção 3.1 do Projeto MapBiomias (2019) para o estado do Paraná para o ano de 2017, ano que corresponde à florada de origem da safra 2017/2018. A classificação da paisagem desta coleção foi gerada a partir do algoritmo Random Forest, a partir de imagens de sensoriamento remoto produzidas pelo satélite Landsat8 que possui definição de pixel em 30x30m. Das classes presentes na classificação original do Projeto MapBiomias (2019) estavam presentes nas unidades amostradas: formação florestal, floresta plantada, formação campestre, formação natural não florestal, pastagem, cultura anual e perene, cultura semi-perene, mosaico agricultura-pastagem, infraestrutura urbana, área não vegetada não natural, mineração e corpos d'água. A filtragem das classes e recortes para o estado do Paraná foram realizados no ambiente de programação Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017).

Adicionalmente, para estas áreas, foram editadas no mapa original todas as propriedades de café para compor uma nova classe “cafeicultura”, totalizando 13 classes de paisagem (Anexo B; Figura S2; Tabela S2). Este procedimento foi realizado a partir do mapeamento de propriedades cafeicultoras do estado do Paraná realizado pela Agência Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018). A correção das áreas florestais foi realizada quando necessária a partir do mapeamento de remanescentes florestais da SOS Mata Atlântica (2019) e com o auxílio de imagens de sensoriamento remoto do satélite Landsat8, do período julho a dezembro de 2017 (INPE, 2018). Todo o procedimento de processamento das imagens e classificação da paisagem foi realizado através do complemento “Semi-Automatic Classification Plugin” (Congedo, 2016) no programa QGIS v4.3.2 (QGIS Development Team, 2019).

2.5. Métricas de paisagem

Após a classificação do uso de solo da paisagem, foram calculadas seis métricas de paisagem para acessar o efeito da diversidade da paisagem, do isolamento de fragmentos florestais naturais, do nível de impacto da paisagem e da cobertura vegetal natural. Dessa forma, como medidas de diversidade da paisagem, foram calculados: (1) índice de equitabilidade de Shannon e (2) índice de diversidade de Shannon, ambos utilizados como

medida da diversidade das classes de paisagem; Como medida do isolamento do cultivo em relação aos fragmentos florestais naturais, foi calculada (3) distância euclidiana média do vizinho mais próximo da formação florestal natural. Como medida do impacto na paisagem foi utilizada (4) intensidade de impacto da paisagem, um índice que resulta da proporção entre a paisagem antropizada (classes de agricultura, pecuária e infraestrutura urbana) e a paisagem natural (classes de formações vegetais nativas e corpos d'água) (Hipólito et al., 2018). Por fim, foram calculados o (5) percentual de cobertura da formação florestal nativa e (6) percentual de cobertura vegetal total, que consiste no somatório da cobertura das classes de vegetação nativa, uma vez que a cobertura vegetal representa a classe de paisagem de maior relevância para espécies nativas fornecedoras dos serviços ecossistêmicos fundamentais para o café, como a polinização e o controle de pragas (Classen et al. 2014). Todas as métricas foram calculadas para recortes nos raios de 1000, 2000 e 3000m a partir do ponto central das propriedades (Figura 3). Os raios foram definidos com base na área de forrageamento das abelhas e na resposta da diversidade de abelhas visitantes do café (Kremen et al., 2004; Saturni et al., 2016). Com exceção da intensidade de impacto calculada no ambiente R Studio (R Core Team, 2019), as demais métricas foram calculadas a partir do programa FRAGSTATS v4.2.1 (McGarigal et al., 2012).

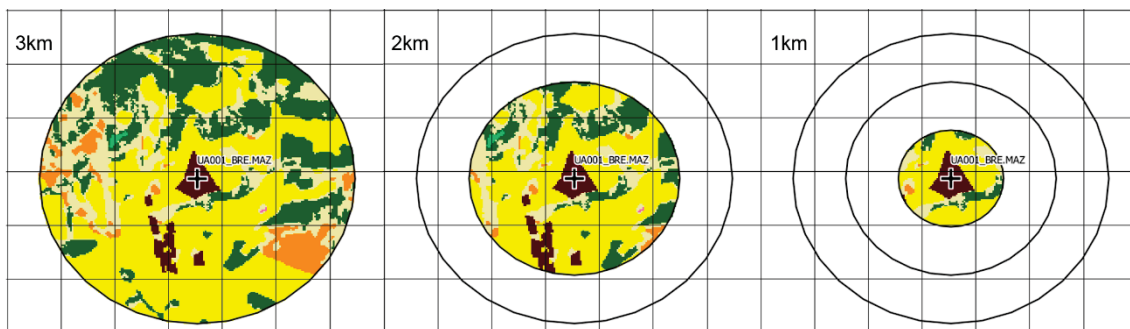


Figura 3 Exemplo dos recortes, nos raios de 3, 2 e 1km respectivamente, utilizados como base para o cálculo das métricas de paisagem por propriedade. A classificação segue a legenda em Figura S1.

2.6. Análises estatísticas

Todas as variáveis preditoras utilizadas foram testadas para verificar correlação, e não foram combinadas quando coeficiente de correlação foi superior a 0,75 (Tabelas S2 a S4 – Anexo C). A autocorrelação espacial das propriedades foi verificada através de um

teste de Mantel no pacote “vegan”, considerando as coordenadas da propriedade e a variável dependente (Figura S3 – Anexo C).

Para verificar como a produção do café (sacas/ha) varia em função da diversidade da paisagem, do isolamento de fragmentos florestais naturais, do nível de impacto da paisagem e da cobertura vegetal natural foi realizada uma seleção de Modelos Lineares Generalizados (GLM). A normalidade da variável resposta (produção) foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk ($w = 0.951$, $p = 0.300$), desta forma os GLMs foram estruturados com distribuição gaussiana. A escala de efeito das variáveis foi testada a partir de modelos lineares (LM), onde a variável resposta foi relacionada a cada variável preditora para cada raio de influência. As variáveis foram modeladas apenas nos raios de maior efeito (Miguet et al., 2016). Uma vez selecionadas as variáveis, os modelos foram gerados de forma univariada e em combinações embasadas em hipóteses pré-estabelecidas. Para o nível municipal foi verificado com a produção (sacas/ha) e o rendimento (R\$/saca) variam em função das métricas supracitadas. Os mesmos procedimentos estatísticos da análise em nível de propriedade foram realizados.

Para avaliar como a produção do café varia em função do manejo aplicado nas propriedades foram utilizadas as variáveis: (1) índice de intensidade de manejo, um índice proposto neste estudo e calculado a partir das categorias de pesticidas, fertilizantes e consórcios utilizados nas propriedades (Fórmula 1); (2) riqueza de cultivares de café cultivados na propriedade, e (3) tempo de cultivo na propriedade. As variáveis predictoras foram modeladas individualmente e em conjunto para verificar possíveis efeitos das interações.

$$(1) \text{IIMN} = (\text{Ins}_{i+1} + \text{Fun}_{i+1} + \text{Her}_{i+1} + \text{Ver}_{i+1} + \text{Pes}_{i+1} + \text{Qui}_{i+1} + \text{Org}_i + \text{Con}_i) / 8$$

Fórmula 1 Índice de intensidade de manejo (**IIMN**), que visa reificar a intensidade do manejo em propriedades de café, medido através do percentual de práticas intensivas aplicadas no manejo da propriedade. **Ins**: aplicação de inseticida; **Fun**: aplicação de fungicida; **Her**: aplicação de herbicida; **Ver**: aplicação de vermicida; **Pes**: aplicação de outro tipo de agrotóxico; **Qui**: aplicação de adubo/fertilizante químico; **Org**: aplicação de adubo/fertilizante orgânico; **Con**: utilização de consórcio com outras espécies vegetais. As variáveis foram tratadas de forma binária assumindo valor 1 quando presente sua aplicação, com exceção de **Org** e **Con** que foram consideradas 0 quando utilizados na propriedade.

A seleção dos modelos foi realizada através do critério de informação de Akaike de segunda ordem (AICc) com a utilização do pacote “MuMIn”, onde o melhor modelo foi

determinado pelo menor AICc. Foram considerados plausíveis os modelos com $\Delta\text{AICc} \leq 2$ e AICc superior ao do modelo nulo. Todas as análises estatísticas foram realizadas através do ambiente de programação RStudio v.1.2.1 (R Core Team, 2019). Os scripts das análises e gráficos bem como todos os dados utilizados neste trabalho estão disponíveis no repositório “[DataCoffePR](#)”.

3. RESULTADOS

3.1. Gerais

A produtividade do café das propriedades amostradas foi de $\bar{X} = 29,3 \pm 11,9$ sacas/ha. No nível municipal, a produtividade foi de $\bar{X} = 31,9 \pm 9,9$ sacas/ha e o rendimento foi de $\bar{X} = 279,7 \pm 72,1$ reais/saca, valores próximos aos estimados pelo acompanhamento da safra brasileira de café para o ano de 2018 (CONAB, 2018).

A paisagem no entorno das propriedades, no raio de 3000m, foi caracterizada por uma matriz agropecuária dominada pelas classes de cultura anual e perene ($\bar{X} = 30,7 \pm 28,4$ %) e mosaico agricultura-pastagem ($\bar{X} = 27,3 \pm 11,0$ %), onde a cafeicultura ocupou em torno de $\bar{X} = 6,8 \pm 7,9$ % da paisagem e a cobertura vegetal $\bar{X} = 16,1 \pm 11,6$ %. No nível municipal a composição foi similar, com as classes de cultura anual e perene ocupando $\bar{X} = 35,5 \pm 25,2$ % e mosaico agricultura-pastagem $\bar{X} = 25,9 \pm 8,9$ % do solo. A cafeicultura representou $\bar{X} = 2,2 \pm 2,3$ % e a cobertura vegetal $\bar{X} = 13,3 \pm 9,1$ % de cobertura da paisagem.

3.2. Seleção de variáveis e escala de efeito

Para a análise de produção por propriedade todas as métricas testadas apresentaram uma escala de maior efeito (Tabela 2). A diversidade da paisagem foi mais explicativa no raio de 3000m ($R^2 = 0,206$) representada pelo índice de diversidade de Shannon. Da mesma forma o isolamento teve seu maior efeito no raio de 3000m ($R^2 = 0,147$). A cobertura vegetal possuiu maior explicação com a variável de cobertura vegetal nativa no raio de 3000m ($R^2 = 0,040$). Por fim, a intensidade de impacto na paisagem foi mais explicativa no raio de 3000m ($0,272$).

Na análise de produção por município, a métrica de diversidade selecionada pelo maior coeficiente de correlação foi o índice de equitabilidade ($R^2 = 0,002$). A métrica de proximidade ($R^2 = 0,089$) foi selecionada para representar o isolamento, apesar do menor coeficiente de correlação, devido à alta correlação entre a variável de isolamento com a métrica de intensidade de impacto e de cobertura florestal nativa. A cobertura de florestal nativa ($R^2 = 0,116$) e a cobertura vegetal ($R^2 = 0,044$) foram ambas utilizadas na representação da vegetação com a finalidade evitar combinações proibidas pela

correlação das variáveis preditoras. Na análise de rendimento por saca os mesmos modelos aplicados à produção por município foram utilizados.

Tabela 2 Efeito sobre a produtividade de café por município das seguintes variáveis preditoras: **SHEI**: índice de equitabilidade de Shannon; **SHDI**: índice de diversidade de Shannon; **IIAP**: índice de impacto da paisagem; **ENN**: vizinhança euclidiana média do vizinho mais próximo dos fragmentos de floresta nativa; **PROX**: índice de proximidade dos fragmentos de floresta nativa; **PLAND_FN**: percentual de cobertura da classe de floresta nativa; **PLAND_VG**: percentual de cobertura de vegetação nativa; **DIV**: diversidade da paisagem; **IMP**: impacto antrópico na paisagem; **ISO**: isolamento dos fragmentos de floresta nativa; **VEG**: cobertura vegetal; **IIMN**: índice de intensidade de manejo; **MAN**: manejo; **VAR**: variedade de cultivares; **IDA**: idade do plantio. Em negrito estão destacados os maiores coeficientes de correlação para cada variável preditora e parâmetro da paisagem.

Resposta	Métrica	Parâmetro	r ² 1000m	r ² 2000m	r ² 3000m	r ² município	r ² propriedade
sacas/ha	SHEI	DIV	0,086	0,132	0,179	0,002	-
	SHDI	DIV	0,115	0,169	0,206	0,000	-
	IIAP	IMP	0,088	0,241	0,272	0,133	-
	ENN	ISO	0,001	0,072	0,147	0,129	-
	PROX	ISO	0,010	0,004	0,006	0,089	-
	PLAND_FN	VEG	0,008	0,018	0,033	0,044	-
	PLAND_VG	VEG	0,012	0,030	0,040	0,116	-
reais/saca	SHEI	DIV	-	-	-	0,096	-
	SHDI	DIV	-	-	-	0,071	-
	IIAP	IMP	-	-	-	0,084	-
	ENN	ISO	-	-	-	0,062	-
	PROX	ISO	-	-	-	0,000	-
	PLAND_FN	VEG	-	-	-	0,012	-
	PLAND_VG	VEG	-	-	-	0,040	-
sacas/ha	IIMN	MAN	-	-	-	-	0,006
	VAR	VAR	-	-	-	-	0,002
	IDA	IDA	-	-	-	-	0,001

3.3. Efeito da estrutura da paisagem sobre a produtividade do café

A produtividade do café medida nas propriedades variou com a estrutura da paisagem. De acordo com a seleção de modelos realizada, a produtividade do café foi negativamente influenciada pelo impacto antrópico ($\Delta AICc = 0$, $w = 0,55$) e positivamente pela diversidade da paisagem ($\Delta AICc = 2$, $w = 0,20$; Tabela 3). A produtividade diminuiu com o impacto antrópico na paisagem (Figura 3A) e aumentou com a diversidade da paisagem (Figura 3B). Os demais parâmetros da paisagem, bem como as interações testadas entre elas, não apresentaram influência sobre a produtividade do café (Tabela 3).

Tabela 3 Modelos das hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) por propriedade. Os modelos estão ordenados pelo critério de informação de Akaike de segunda ordem (AICc); Δ AICc: delta AICc, **w**: peso do modelo; **Acu.w**: peso acumulado dos modelos. Em negrito os valores dos modelos mais plausíveis e discutidos no trabalho. **IMP**: impacto; **DIV**: diversidade; **ISO**: isolamento; **VEG**: cobertura vegetal.

Modelo	AICc	Δ AICc	w	Acu. w
M2 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ IMP}$	178,1	0,00	0,552	0,552
M3 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ DIV}$	180,1	2,00	0,203	0,755
M4 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ ISO}$	181,8	3,66	0,089	0,844
M0 Nulo	182,8	4,64	0,054	0,898
M5 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ VEG} + \beta_2 \text{ IMP} + \beta_3 \text{ VEG} * \text{ IMP}$	184,0	5,81	0,030	0,928
M8 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ IMP} + \beta_2 \text{ DIV} + \beta_3 \text{ IMP} * \text{ DIV}$	184,2	6,06	0,027	0,955
M1 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ VEG}$	184,7	6,54	0,021	0,976
M6 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ VEG} + \beta_2 \text{ DIV} + \beta_3 \text{ VEG} * \text{ DIV}$	185,1	6,92	0,017	0,993
M7 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ VEG} + \beta_2 \text{ ISO} + \beta_3 \text{ VEG} * \text{ ISO}$	187,1	9,00	0,006	1,000

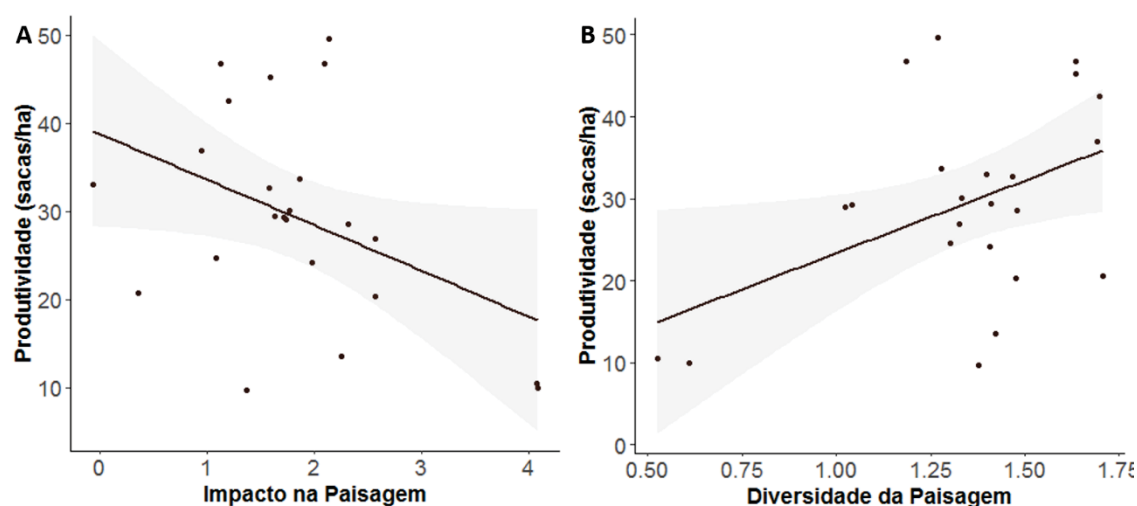


Figura 4 **A**: Variação da produtividade do café (sacas/ha) por propriedade em função do impacto antrópico na paisagem, no raio de 3000m (Produtividade = $33,51 - 0,40 * \text{IMP}$; $F_{1,21} = 7,85$; $p = 0,01$). O IAP que mede o impacto na paisagem foi logaritimizado para melhor visualização gráfica dos dados. **B**: variação da produtividade do café (sacas/ha) por propriedade em função da diversidade da paisagem, no raio de 3000m (Produtividade = $5,69 + 17,68 * \text{DIV}$; $F_{1,21} = 5,45$; $p = 0,03$).

Da mesma forma que nas propriedades, nos municípios amostrados, a produtividade do café também variou com a estrutura da paisagem. Porém para esta escala, a produtividade do café em nível municipal é influenciada pela interação entre a diversidade e o percentual da cobertura vegetal (Δ AICc = 0, w = 0,50; Tabela 4; Figura 4). Para a seleção de modelos que testaram o rendimento da produção de café em função dos parâmetros da paisagem nenhum se apresentou mais plausível que o modelo nulo (Δ AICc = 0,54, w = 0,23; Tabela 5).

Tabela 4 modelos de hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) e rendimento (reais/saca) por município ordenados pelo critério de informação de Akaike de segunda ordem (AICc); Δ AICc: delta AICc, w : peso do modelo; **Acu. w**: peso acumulado dos modelos. Em negrito os valores dos modelos mais plausíveis e discutidos no trabalho. **IMP**: impacto; **DIV**: diversidade; **ISO**: isolamento; **VEG**: cobertura vegetal.

Resposta	Modelo	AICc	Δ AICc	w	Acu. w
Produtividade (sacas/ha)	M6 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{DIV} + \beta_3 \text{VEG} * \text{DIV}$	221,2	0,00	0,498	0,498
	M8 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{IMP} + \beta_2 \text{DIV} + \beta_3 \text{IMP} * \text{DIV}$	223,3	2,09	0,175	0,673
	M2 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{IMP}$	224,2	2,98	0,112	0,785
	M3 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{DIV}$	224,8	3,57	0,083	0,868
	M1 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG}$	225,7	4,46	0,054	0,922
	M0 Nulo	226,0	4,78	0,046	0,968
	M4 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ISO}$	228,4	7,19	0,014	0,982
	M7 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{ISO} + \beta_3 \text{VEG} * \text{ISO}$	229,0	7,82	0,010	0,992
	M5 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{IMP} + \beta_3 \text{VEG} * \text{IMP}$	229,2	7,95	0,009	1,000
	Rendimento (reais/saca)	M3 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{DIV}$	344,7	0,00	0,295
M2 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{IMP}$		345,1	0,35	0,247	0,542
M0 Nulo		345,3	0,54	0,225	0,767
M1 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG}$		347,4	2,65	0,079	0,846
M4 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{ISO}$		347,8	3,01	0,065	0,911
M8 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{IMP} + \beta_2 \text{DIV} + \beta_3 \text{IMP} * \text{DIV}$		348,9	4,11	0,038	0,949
M6 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{DIV} + \beta_3 \text{VEG} * \text{DIV}$		349,5	4,72	0,028	0,977
M5 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{IMP} + \beta_3 \text{VEG} * \text{IMP}$		350,6	5,84	0,016	0,993
M7 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VEG} + \beta_2 \text{ISO} + \beta_3 \text{VEG} * \text{ISO}$		352,3	7,60	0,007	1,000

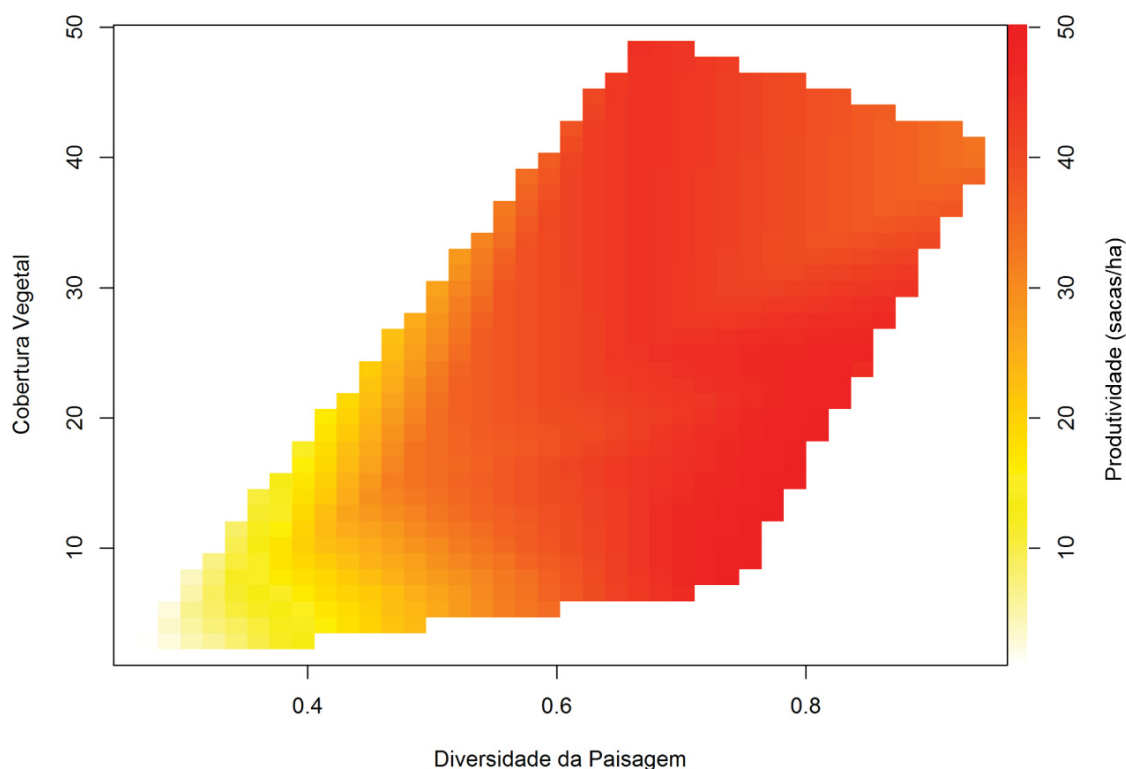


Figura 5 Variação da produtividade do café (sacas/ha) por município em função da diversidade da paisagem e da cobertura vegetal. $\text{Produtividade} = 29,42 + 6,63 \text{DIV} - 7,93 \text{VEG} + 4,57 (\text{DIV} * \text{VEG})$. A temperatura das cores indica a produtividade de café em sacas/ha.

3.4. Efeito do manejo sobre a produtividade do café

Ao contrário dos resultados encontrados para a estrutura da paisagem os modelos gerados para avaliar o efeito do manejo sobre a produtividade do café não se apresentaram mais plausíveis que o modelo nulo, sendo todos modelos com $\Delta AICc > 2$ ($\Delta AICc = 0$, $w = 0,53$; Tabela 5).

Tabela 5 modelos de hipóteses concorrentes para a produtividade do café (sacas/ha) em função do método de manejo empregado na propriedade. Os modelos estão ordenados pelo critério de informação de Akaike de segunda ordem (**AICc**); **$\Delta AICc$** : delta AICc, **w**: peso do modelo; **Acu. w**: peso acumulado dos modelos. **MAN**: manejo; **VAR**: variedade; **IDA**: idade.

Modelo	AICc	$\Delta AICc$	w	Acu. w
M0 Nulo	198,3	0,00	0,531	0,531
M9 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{MAN}$	200,7	2,45	0,156	0,687
M10 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{VAR}$	200,8	2,56	0,148	0,835
M11 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{IDA}$	200,9	2,57	0,147	0,982
M12 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{MAN} + \beta_2 \text{VAR} + \beta_3 \text{IDA} + (\text{MAN} * \text{VAR} * \text{IDA})$	206,4	8,08	0,009	0,991
M13 $y = \beta_0 + \beta_1 \text{MAN} + \beta_2 \text{VAR} + \beta_3 \text{IDA}$	206,6	8,36	0,008	1,000

4. DISCUSSÃO

4.1. Efeito da estrutura da paisagem sobre a produtividade do café

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a produtividade do café é influenciada pela estrutura da paisagem, tanto no nível de propriedade quanto no nível de municípios. Sobretudo, estes resultados apontam que a intensidade de impacto antrópico e a diversidade da paisagem são os elementos estruturais da paisagem mais relevantes para a produtividade do café. O percentual de cobertura vegetal da paisagem, por sua vez, não foi diretamente ligado à produtividade do café, mas apresenta sua importância de forma indireta. Tendo em vista o papel da cobertura vegetal no cálculo da métrica de impacto e a influência positiva da interação entre cobertura vegetal e a diversidade da paisagem sobre a produtividade no nível de município, o percentual de vegetação na paisagem pode ser considerado um fator relevante para a produtividade da cafeicultura.

4.1.1. Intensidade de impacto na paisagem

O efeito negativo da intensidade de impacto sobre a produtividade do café também foi observado por Hipólito et al., (2018), porém em um raio menor, onde a intensidade de impacto foi o elemento da paisagem mais relevante para a produção. Este efeito pode ser explicado pelo fato de que paisagens mais conservadas e com maior cobertura vegetal são capazes de fornecer uma maior diversidade de recursos para espécies que fornecem os serviços ecossistêmicos (Kremen et al., 2018). Como a maior quantidade de habitat é capaz de manter uma maior biodiversidade (Farigh 2013), a influência positiva da paisagem sobre a produtividade do café deve emergir do suporte que o habitat disponível dá para estas espécies. Alternativamente, como a maior cobertura vegetal pode resultar em uma maior conectividade na paisagem (Uezu, et al., 2008; Goodwin et al., 2019) é possível que o efeito ter sido observado no raio de 3000m seja reflexo de uma matriz mais permeável. Desta forma, as espécies polinizadoras e que exercem controles de pragas do café não permanecem restritas em fragmentos, mas podem transitar pela paisagem, acessando os recursos presentes nas propriedades de café e fornecendo seu serviço.

Este estudo não mediu de forma direta a influência dos serviços ecossistêmicos sobre a produtividade do café, pois os dados de produção foram obtidos através de um censo proveniente de entrevistas com produtores de café. Portanto, a medida de

produtividade em sacas de grão pode apresentar vieses provenientes do manejo pós-colheita (seleção, secagem, descasque e/ou torra). Mesmo diante dos possíveis vieses do beneficiamento, o efeito da intensidade de impacto na paisagem na produtividade de café indica que a estrutura da paisagem tem forte influência sobre a produtividade do café por intermédio dos serviços ecossistêmicos mantidos pela paisagem (Hipólito et al., 2018; Aristizábal et al., 2019). Como a métrica utilizada para medir o impacto na paisagem é um índice que resulta da proporção entre a paisagem antropizada e a paisagem natural, este resultado ressalta a importância que paisagens mais conservadas têm para a produção de café. Paisagens com maior proporção de área natural garantem uma maior estabilidade de serviços ecossistêmicos essenciais para a agricultura, como a polinização e o controle de pestes, e da biodiversidade de espécies que os mantêm (LeFéon et al., 2010; Karp et al., 2013). Em contrapartida paisagens dominadas pela agricultura e com pouca paisagem nativa tendem a possuir menor diversidade de abelhas e aves, comprometendo a produtividade agrícola pela redução dos serviços ecossistêmicos mediados por esses animais (Boesing et al., 2017; Grab et al., 2019).

4.1.2. Diversidade da paisagem

A produtividade do café tende a aumentar conforme uma maior diversidade da paisagem uma vez que paisagens mais heterogêneas são capazes de manter uma maior biodiversidade de espécies de abelhas (Hoehn et al., 2010) e aves (Wilson et al., 2017). Da mesma forma a heterogeneidade da paisagem fortalece a relação existente entre a diversidade de espécies e a funcionalidade dos ecossistemas que elas compõem (Hammill et al., 2018), através do aumento da diversidade funcional (Hoehn et al., 2008) e taxonômica (Klein et al., 2003) das abelhas, levando ao incremento da produtividade do café. De maneira semelhante, o controle de pestes do café também tende a ser mais eficiente com o aumento da diversidade funcional e taxonômica de aves insetívoras (Martínez-Salinas et al., 2016). Assim uma paisagem mais diversa pode ser capaz de manter uma maior diversidade de polinizadores e de predadores de pestes do café e, portanto, manter o fornecimento de serviços ecossistêmicos mais estáveis levando a safras maiores.

Ao se avaliar o efeito da heterogeneidade é fundamental considerar as diferentes qualidades da diversidade da paisagem, uma vez que a heterogeneidade pode emergir tanto da composição quanto da configuração da paisagem (Fahrig et al., 2011; Tschardtke

et al., 2012b). Deste modo, a heterogeneidade da paisagem será funcional para agricultura, ou seja, capaz de manter os serviços ecossistêmicos necessários, quando for composta de forma significativa por manchas de classes de paisagem que fornecem recursos e habitats de qualidade e numa configuração que permita o trânsito das espécies que fornecem estes serviços (Fahrig et al., 2011). Isso fica evidente neste estudo, uma vez que a interação entre a diversidade da paisagem e a cobertura vegetal foram positivamente influentes sobre a produtividade do café no nível municipal, ressaltando o papel da vegetação mesmo numa matriz agrícola diversa.

4.1.3. Isolamento de fragmentos de floresta nativa

Ao contrário da expectativa inicial e do relatado na literatura (Ricketts et al., 2004; Priess et al., 2007; Souza et al., 2013; Boreux et al., 2013; Hipólito et al., 2018), o isolamento de fragmentos florestais não apresentou relação com a produtividade do café, tanto no nível de propriedade quanto no nível municipal. A ausência do efeito do isolamento pode estar associada com a paisagem altamente impactada onde estão localizadas as propriedades e municípios amostrados neste estudo, com a paisagem vegetal nativa (florestas, campos e outras formações) correspondendo menos de 15% da cobertura total. Com a ausência ou redução de uma estrutura na paisagem que favoreça as espécies de abelhas nativas, como é a vegetação nativa (LeFéon et al., 2010), é possível que o serviço fornecido por estas espécies se torne reduzido, dada suas baixas populações no entorno das propriedades, desta forma o isolamento apresentaria um efeito fraco ou ainda ausente.

Por outro lado, a ausência do efeito do isolamento pode decorrer do fato que o serviço de polinização para o café na região estudada seja fornecido em grande parte por *Apis mellifera*, amplamente relatada como a polinizadora mais abundante do café (Ricketts et al., 2004; Ngo et al., 2011; Satuirmi et al., 2016; Hipólito 2018). Como esta espécie é favorecida pelo manejo da apicultura e pela estrutura rural da paisagem, não sendo afetada negativamente pelo aumento do isolamento de fragmentos florestais (Krewenka et al., 2011), o serviço de polinização pode estar sendo parcialmente mantido. Todavia, para confirmar este cenário são necessários estudos que mostrem como a abundância e diversidade dos visitantes florais influenciam a produtividade do café nesta região, com uma concomitante avaliação do serviço de polinização prestados por abelhas nativas perante a ausência e presença de *A. mellifera*.

4.2. Efeito do manejo sobre a produtividade do café

Este estudo demonstrou que não houve influência do manejo, sobre a produtividade do café no nível das propriedades contrariando nossas hipóteses e a literatura (Boreaux et al., 2013). É possível que a proposta de reificar o método de manejo das propriedades em um índice que levasse em conta a aplicação de agroquímicos e a associação do cultivo com outras espécies vegetais não foi hábil em representar numericamente a miríade de variáveis envolvidas nas aplicações de pesticidas e no consórcio dos cultivos. Questões como dose, princípio ativo, intervalo de aplicação e sazonalidade da aplicação, além das categorias de inseticidas, também devem ser pensadas e possivelmente incluídas em equações que visem a quantificação da intensidade do manejo. Em relação ao consórcio a proporção do cultivo, riqueza e diversidade das plantas consorciadas também são variáveis candidatas a serem incluídas num modelo mais robusto.

Outros dois fatores relevantes no manejo agrícola do café são os cultivares cultivados e a idade das plantas cultivadas. Diferentes cultivares de café se adequam de forma diferente às condições ambientais como o tipo de solo, elevação e condições climáticas e meteorológicas (EMBRAPA, 2007). Sob uma perspectiva evolutiva existem indícios, em outras espécies cultiváveis, de que a riqueza de genótipos pode ser um fator que influencia na produtividade (Weiner et al., 2017). Da mesma forma a produtividade é influenciada pela idade dos talhões, que podem variar sua idade de pico de produtividade de acordo com o cultivar (EMBRAPA, 2007). Assim, embora tais variáveis sejam absolutamente relevantes para a produtividade do cultivo, para se obter um modelo mais robusto é necessário incluir nas equações a idade de cada cultivar individualmente e a proporção que cada cultivar ocupa nas propriedades.

Não obstante, outra interpretação que pode ser dada a este resultado vem da possibilidade de que a estrutura da paisagem possui um papel de maior protagonismo que o manejo da propriedade sobre a produtividade do café. Propriedades inseridas em paisagens mais conservadas podem se beneficiar não apenas dos serviços ecossistêmicos de polinização e controle de pragas. Paisagens ecologicamente mais estáveis também são capazes de fornecer outros serviços como a manutenção de um solo de melhor qualidade (mais nutritivo) a longo prazo e o fornecimento de irrigação natural (Kremen et al., 2018), fatores que são fundamentais para a maior parte dos cultivares de café (EMBRAPA, 2017).

4.3. Importância para a conservação dos serviços ecossistêmicos e para a cafeicultura

4.3.1. A estrutura da paisagem, os serviços ecossistêmicos e a segurança alimentar

Este estudo, de maneira geral, corrobora a ideia de que a conservação da biodiversidade e a segurança alimentar devem ser estudadas de maneira integrativa, tendo em vista a vasta quantidade de evidências que apontam que a biodiversidade tem papel fundamental sobre a produtividade agrícola (Glamann et al., 2015). Esta abordagem pode ser especialmente relevante em países em pleno desenvolvimento, onde os serviços ecossistêmicos desempenham um papel fundamental para a economia agrícola, como é o caso do Brasil (Giannini et al., 2015). Nesta perspectiva, este estudo também reforça que a paisagem é uma escala fundamental para adoção de estratégias que visem a harmonização entre a conservação da biodiversidade e a segurança alimentar, no tempo presente e no futuro (Wittman et al., 2017).

Os resultados apresentados neste estudo indicam que a produtividade do café é influenciada pela estrutura da paisagem, e como discutido nas seções anteriores, a paisagem por intermédio de seus diversos elementos estruturais é responsável pela manutenção de serviços ecossistêmicos, essenciais para a produção do café. Este fenômeno também tem sido observado em uma vasta diversidade de cultivos e de paisagens, em várias regiões de cultivo do Brasil e do mundo (IPBES, 2016; BPBES/REBIP, 2019). Compreender quais elementos da paisagem contribuem para a produtividade agrícola e em quais escalas eles atuam é fundamental para se estabelecer estratégias adequadas de manejo da paisagem. Além disso, esta compreensão deve estruturar políticas públicas que busquem de forma integrativa e eficaz a conservação da biodiversidade que mantém os serviços ecossistêmicos e da produtividade agrícola que garante a alimentação humana. Com efeito são necessárias ações de manejo que busquem a readequação da paisagem agrícola, moldando uma paisagem de melhor qualidade com menor impacto antrópico, uma heterogeneidade funcional e uma conectância efetiva entre os fragmentos de vegetação nativa. Esse caráter urgente emerge da necessidade de recuperar e garantir a estabilidade das populações e comunidades das espécies nativas que fornecem os serviços ecossistêmicos, sobretudo das abelhas e aves que sofrem com efeitos sinérgicos da fragmentação de hábitat, do manejo intensivo na agricultura e das mudanças climáticas.

4.3.2. Os dados de censo e recenseamento aplicados na conservação dos serviços ecossistêmicos para a cafeicultura

Como demonstrado previamente este estudo adotou uma estratégia não muito recorrente em análises de produtividade, com a adoção de dados provenientes de censos e recenseamentos. No entanto, com essa base de dados foi possível inferir sobre o papel da estrutura da paisagem sobre a produtividade do café no estado do Paraná.

No Brasil muitos institutos desempenham o papel fundamental de monitorar a estrutura espacial do país, a partir de censos agropecuários (IBGE, 2017), acompanhamentos de safras e mapeamentos das propriedades agrícolas (CONAB, 2018), mapeamentos dos remanescentes florestais nativos (S.O.S Mata Atlântica, 2017), catalogação de imagens de satélite (INPE, 2018) e classificação do uso do solo (Projeto MapBiomass, 2018). Os dados obtidos e disponibilizados por estas instituições são amplamente relevantes para pesquisas científicas pois apresentam rigor técnico e metodológico em sua obtenção e uma grande amplitude espacial e temporal de informações.

A adoção destes bancos de dados aplicados para pesquisas na escala de paisagem representa uma chance de se realizarem estudos com ampla cobertura dos territórios dos municípios e estados. Desta forma, pode-se obter informações mais completas e verossímeis sobre a situação atual do manejo e uso do solo. Além disso, estes dados podem servir como fonte para análises de teor preditivo que busquem compreender a adequabilidade das terras para o cultivo de café em cenários futuros, com mudanças climáticas e meteorológicas, como já foi realizado em outros países (Läderach et al., 2017; Fain et al., 2018). Ainda, o monitoramento da paisagem, em ampla escala espacial e temporal, deverá servir para se compreender de forma objetiva como os serviços ecossistêmicos funcionam a partir da interferência humana na paisagem, e como alterações nestes serviços impactam a produtividade do café.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo reforçam a ideia de que a estrutura da paisagem possui um papel fundamental na produtividade do café. Elementos estruturais da paisagem reconhecidos por beneficiar a biodiversidade nativa também indicaram beneficiar a cafeicultura. Assim, é reiterada a visão de que a atividade agrícola é interdependente da estrutura ecossistêmica na qual está inserida. Desta forma, para atingir o objetivo de se estabelecer uma cadeia produtiva de café sustentável, que atenda às demandas de conservação, de mercado e que garanta a segurança alimentar desta e das próximas gerações, será necessária a adoção de estratégias em macroescala. Planos de manejo de terras agrícolas e/ou de reservas legais, além políticas públicas voltadas para a sustentabilidade do setor cafeeiro devem levar em consideração a integração ecossistêmica que há entre as propriedades produtoras de café e paisagem no seu entorno.

REFERÊNCIAS

- Allan, E., Manning, P., Alt, F., Binkenstein, J., Blaser, S., Blüthgen, N., Böhm, S., Grassein, F., Hölzel, N., Klaus, V.H., Kleinebecker, T., Morris, E.K., Oelmann, Y., Prati, D., Renner, S.C., Rolling, M.C., Schaefer, M., Schloter, M., Schmitt, B., Schöning, I., Schrumpf, M., Solly, E., Sorkau, E., Steckel, J., Steffen-Dewenter, I., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weiner, C.N., Weisser, W.W., Werner, M., Westphal, C., Wilcke, W., Fischer, M. 2015. Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecology Letters* 18, 834-843.
- Aristizábal, N., Metzger, J.P. 2019. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology* 56, 21-30.
- Boesing, A.L., Nichols, E., Metzger, J.P. 2017. Effects of landscape structure on avian-mediated insect pest control services: a review. *Landscape Ecology* 32, 931-944.
- Classen, A., Peters, M.K., Ferger, S.W., Helbig-Bonitz, M., Schmack, J.M., Maassen, G., Schleuning, M., Kalko, E.K.V., Böhning-Gaese, K., Steffan-Dewenter, I., 2014. Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields. *Proceedings of the Royal Society B* 281, 20133148.
- Clifford, M.N., Willson, K.C. 2012. *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Springer Science & Business Media. 466p.
- Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. 2018. Acompanhamento da safra brasileira: café, quarto levantamento 5, 1-66.
- Congedo, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. 2016. Release 6.0.1.1. 203p.
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152-158.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. 2007. *Cultivares de Café*. Carvalho, C.H.S., Rena, A.B., Pereira, A.A., Mendes, A.N.G., Nacif, A.P., Fonseca, A.F.A., Botelho, C.E., Zambolim, E., Caixeta, E.T., DaMatta, F.M., Bartholo, G.F., Carvalho, G.R., Sera, G.H., Matiello, J.B., Medina-Filho, H.P., Alves, J.D., Padilha, L., Fazuoli, L.C., Protasio, L.F., Ferrão, M.A.G., Silvarolla, M.B., Eira, M.T.S., Sakiyama, N.S., Guerreiro-Filho, O., Bordignon, R., Ferrão, R.G., Almeida, S.R., Sera, T., Moura, W.M. (eds). Brasília: EMBRAPA. 247p.
- Fahrig, L. 2013. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography* 40, 1649-1663.
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.L. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14, 101-112.

- Fain, S.J., Quiñones, M., Álvarez-Berrios, N.L., Parés-Ramos, I.K., Gould, W.A. 2018. Climate change and coffee: assessing vulnerability by modeling future climate suitability in the Caribbean island of Puerto Rico. *Climatic Change* 146, 175-186.
- Folmer, B. 2016. *The craft and science of coffee*. Londres: Academic Press. 556p.
- Food and Agriculture Organization, FAO. FAOSTAT Crops 2016. Disponível em: [FAOSTATS](#). Acesso em: 20 de agosto de 2018.
- Garibaldi, L.A. Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dugenhöffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipólito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlöf, M., Seymour, C.L., Schüepp, C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Tscharntke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339, 1608-1611.
- Giannini, T.C., Cordeiro, G.D., Freitas, B.M., Saraiva, A.M., Imperatriz-Fonseca, V.L. 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108, 849-857.
- Glamann, J., Hanspach, J., Abson, D.J., Collier, N., Fischer, J. 2017. The intersection of food security and biodiversity conservation: a review. *Regional Environmental Change* 17, 1303-1313.
- Goodwin, B.J., Fahrig, L. 2002. How does landscape structure influence landscape connectivity? *Oikos* 99, 552-570.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18-27.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E.L. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347, 1255957.
- Grab, H., Branstetter, M.G., Amon, N., Urban-Mead, K.R., Park, M.G., Gibbs, J., Blitzer, E.J., Poveda, K., Loeb, G., Danforth, B.N. 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science* 363, 282-284.
- Hallmann, C.A., Foppen, R.P., van Turnhout, C.A., de Kroon, H., Jongejans, E. 2014. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* 511, doi:10.1038/nature13531.
- Hammill, E., Hawkins, C.P., Greig, H.S., Kratina, P., Shurin, J.B., Atwood, T.B. 2018. Landscape heterogeneity strengthens the relationship between β -diversity and ecosystem function. *Ecology* 99, 2467-2475.

- Hipólito, J., Boscolo, D. & Viana, B. F. 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 256, 218-225.
- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J.M., Steffan-Dewenter, I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275, 2283-2291.
- Hoehn, P., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. 2010. Relative contribution of agroforestry, rainforest and openland to local and regional bee diversity. *Biodiversity and Conservation* 19, 2189-2200.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, IBGE. 2003. Estatísticas do café no estado do Paraná. Rio de Janeiro: IBGE, 54p.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, IBGE. 2016. A geografia do café. Rio de Janeiro: IBGE, 136p.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, IBGE. 2017. Censo agropecuário 2017. Disponível em: [Censo Agropecuário](#). Acesso em 30 de junho de 2019.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 2018. Catálogo de imagens de satélite: Landsat8. Disponível em: [Catálogo de Imagens de Satélite](#). Acesso em 10 de Maio de 2018.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T. Guèze, M., Agard, J., Arneeth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Roy Chowdhury, R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I.J., Willis, K.J., Zayas, C.N. (eds.). Bonn: IPBES Secretariat. 56p.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES. 2016. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L., Ngo, H.T., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settle, J., Vanbergen, A.J., Aizen, M.A.m Cunningham, S.A., Eardley, C., Freitas, B.M., Gallai, N., Kevan, P.G., Kovács-Hostyánszki, A., Kwapong, P.K., Li, J., Li, X., Martins, D.J., Nates-Parra, G., Pettis, J.S., Rader, R., Viana, B.F. (eds.). Bonn: IPBES Secretariat. 36p.
- Jha, S., Vandermeer, J.H. 2010. Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation* 143, 1423-1431.
- Karp, D.S., Mendenhall, C.D., Sandí, R.F., Chaumont, N., Ehrlich, P.R., Hadly, E.A., Daily, G.C. 2013. Forest bolsters bird abundance, pest control and coffee yield. *Ecology Letters* 16, 1339-1347.
- Khan, M.J., Zia, M.S., Qasim, M. 2010. Use of pesticides and their role in environmental pollution. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 4, 621-627.

- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 270, 955-961.
- Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P., Thorp, R.W., 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters* 7, 1109–1119.
- Kremen, C., Merenlender, A.M. 2018. Landscapes that work for biodiversity and people. *Science* 362, eaau6020.
- Krewenka, K.M., Holzschuh, A., Tschardt, T., Dormann, C.F. 2011. Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. *Biological Conservation* 144, 1816-1825.
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J.R., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A., Jarvis, A. 2017. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change* 141, 47-62.
- LeFéon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., Burel, F. 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137, 143-150.
- Martins, A.L. 2012. *História do café*. Editora contexto, 320p.
- Martínez-Salinas, A., DeClerck, F., Vierling, K., Vierling, L., Legal, L., Vilchez-Mendoza, S., Avelino, J. 2016. Bird functional diversity supports pest control services in a Costa Rican coffee farm. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 235, 277-288.
- Mass, B., Karp, D.S., Bumrungsri, S., Darras, K., Gonthier, D., Huang, J.C.C., Lindell, C.A., Maine, J.J., Mestre, L., Michel, N.L., Morrison, E.B., Perfecto, I., Philpott, S.M., Sekercioglu, Ç.H., Silva, R.M., Taylor, P.J., Tschardt, T., Van Bael, S.A., Whelan, C.J., Williams-Guillén, K. 2015. Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes. *Biological Reviews* 91, 1081-1101.
- McGarigal, K. 2014. Landscape pattern metrics. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. 13p.
- McGarigal, K., Cushman, S.A., Ene, E. 2012. FRAGSTATS v4.2.1: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors. University of Massachusetts, Amherst. URL <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Mesquita, C.M., Rezende, J.E., Carvalho, J.S., Fabri Júnior, M.A., Moraes, N.C., Dias, P.T., Carvalho, R.M., Araújo, W.G. 2016. *Manual do café: distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro (Coffea arábica L.)*. Belo Horizonte: EMATER-MG, 62p.
- Miguet, P., Jackson, H.B., Jackson, N.D., Martin, A.E., Fahrig, L. 2016. What determines the spatial extent of landscape effects on species? *Landscape Ecology*, 31, 1177-1194.

- Ngo, H.T., Mojica, A.C., Packer, L. 2011. Coffee plant–pollinator interactions: a review. *Canadian Journal of Zoology* 89, 647-660.
- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R. 2013. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. *Journal of Applied Entomology* 137, 1-15.
- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R. 2014. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection* 56, 50-54.
- Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos, BPBES, Rede Brasileira de Interações Planta-Polinizador, REBIPP. 2019. Relatório temático sobre polinização, polinizadores, e produção de alimentos no Brasil. Wolowski, M., Agostini, K., Rech, A.R., Varassin, I.G., Maués, M., Freitas, L., Carneiro, L.T., Bueno, R.O., Consolaro, H., Carvalheiro, L., Saraiva, A.M., Silva, C.I. (eds.). Secretaria REBIP. 93p.
- Priess, J. A., Mimler, M., Klein, A.M., Schwarze, S., Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I. 2007. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Applications* 17, 407-417.
- Projeto MapBiomas, 2019. Coleção 3.1 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. Disponível em: [Coleção 3.1](#). Acesso em: 20 de março de 2019.
- QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System v4.3.2. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ricketts, T. 2004 Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18, 1262-1271.
- Ricketts, T. H., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., & Michener, C. D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, 12579-12582.
- Rösch, V., Tschardtke, T., Scherber, C., Batáry, P. 2015. Biodiversity conservation across taxa and landscapes requires many small as well as single large habitat fragments. *Oecologia* 179, 209-222.
- Roubik, D. W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature* 417, 708.
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M., Bommarco, R. 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 221, 198-204.
- Saturni, F.T., Jaffé, R. Metzger, J.P. 2016. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 235, 1-12.

- SOS Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais. Disponível em: [Mapas](#). Acesso em: 25 de janeiro de 2019.
- Souza, A.J.J., Matsumoto, S.N., Malta, M.R., Guimarães, R.J. 2013. Quality of forested and full sun coffee, in post-harvest management in southwestern Bahia. *Coffee Sciences* 8, 99-109.
- Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters* 8, 857-874.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., Whitbread, A. 2012a. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151, 53-59.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Didham, R.K., Fahrig, L., Batary, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T.O., Dormann, C.F., Ewers, R.M., Fründ, J., Holt, R.D., Holzschuh, A., Klein, A.M., Klejin, D., Kremen, C., Landis, D.A., Laurance, W., Lindenmayer, D., Scherber, C., Sodhi, N., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., van der Putten, W.H., Westphal, C. 2012b. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological Reviews* 87, 661-685.
- Uezu, A., Beyer, D.D., Metzger, J.P. 2008. Can agroforest woodlots work as stepping stones for birds in the Atlantic forest region? *Biodiversity and Conservation* 17, 1907-1922.
- Weiner, J., Du, Y.L., Zhang, C., Qin, X.L., Li, F.M. 2017. Evolutionary agroecology: individual fitness and population yield in wheat (*Triticum aestivum*). *Ecology* 98, 2261-2266.
- Wilson, S., Mitchell, G.W., Pasher, J., McGovern, M., Hudson, M.A.R., Fahrig, L. 2017. Influence of crop type, heterogeneity and woody structure on avian biodiversity in agricultural landscapes. *Ecological Indicators* 83, 218-226.
- Wittman, H., Chappell, M.J., Abson, D.J., Kerr, R.B., Blesh, J., Hanspach, J., Perfecto, I., Fischer, J. 2017. A social–ecological perspective on harmonizing food security and biodiversity conservation. *Regional Environmental Change* 17, 1291-1301.

ANEXOS

Anexo A: questionário aplicado aos cafeicultores

Instruções:

- A. Responda o questionário na ordem e no espaço destinado;
- B. Responda com a maior precisão possível, se precisar consultar documentos ou mandar a localização do cultivo por algum aparelho de GPS/Smartphone tome o tempo necessário.
- C. Se você possui mais de um estabelecimento responda apenas sobre o seu principal estabelecimento (o maior), ou responda separadamente para cada área de cultivo.
- D. Assine o termo de livre consentimento esclarecido ao final do questionário.

Nome do entrevistado:

Contato:

1. Qual a localização (coordenadas geográficas) da sua propriedade?
2. Qual a área aproximada (ha) da sua propriedade com plantio de café?
3. Qual a produção (sacas) da sua propriedade para a safra de 2017/2018?
4. Qual a renda líquida obtida para a safra de 2017/2018 (opcional)?
5. Quais variedades de café cultivadas na sua propriedade e suas respectivas idades? (p.e.: Catuaí, 10 anos; Mundo Novo 5 anos; Ubatã 1 ano)
6. Qual a avaliação de qualidade/tipo de bebida (ABIC, cooperativas ou outros) para a safra de 2017/2018?
7. Há quanto tempo esta propriedade é utilizada para o cultivo de café?
8. Quantos anos de experiência você possui com o cultivo de café?

9. Você classificaria seu cultivo de café como:

Convencional

Orgânico

Transição

10. Se convencional, quais categorias de pesticidas você aplica?

Inseticidas

Fungicidas

Herbicidas

Vermicidas

Outros. Quais?

11. Qual tipo de adubo/fertilizante você utiliza?

Químico

Orgânico. Qual?

12. Seu cultivo de café é puro (apenas café) ou consorciado? Se consorciado, com quais outros cultivos e em qual situação.

13. Além dos fatores citados nas questões anteriores, quais outros fatores você julga importantes para a produção do café?

Agradecemos sua colaboração!

Anexo B: classificação do uso do solo do limite norte do estado do Paraná

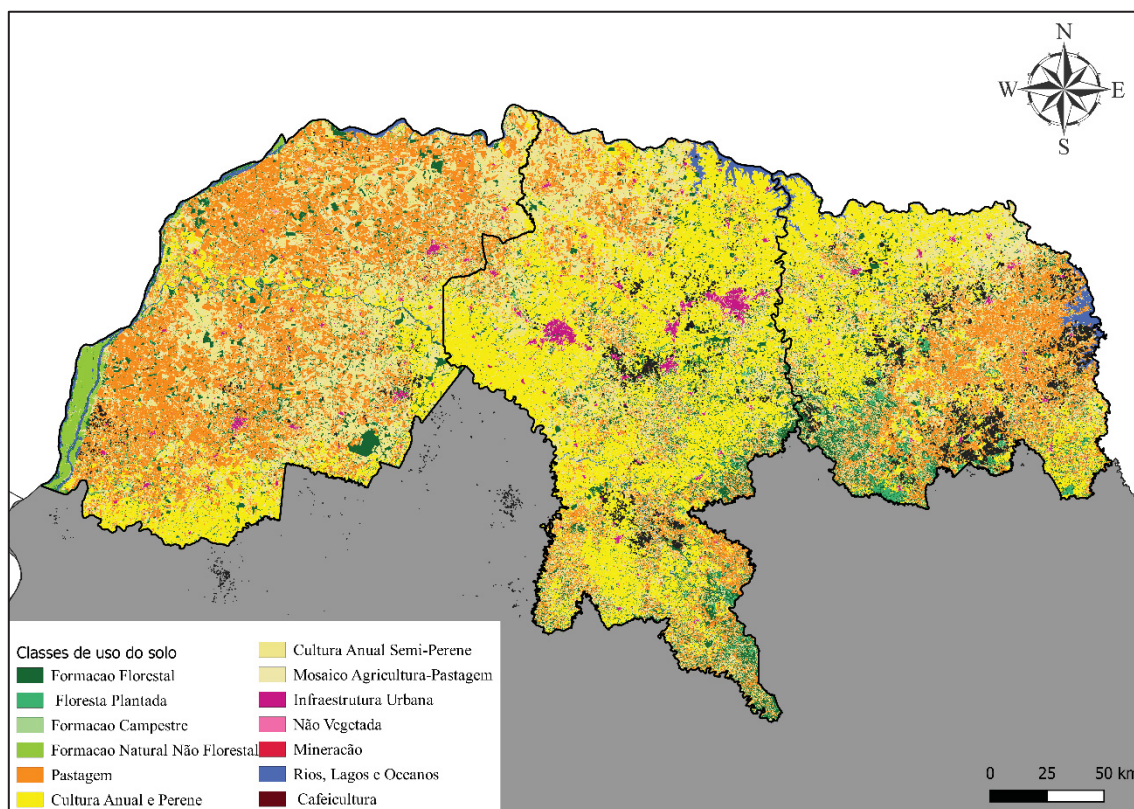


Figura S1 Classificação do uso do solo nas regiões Noroeste, Norte-Central e Norte Pioneiro do estado do Paraná

Tabela S1 cobertura do solo nas regiões Noroeste, Norte-Central e Norte Pioneiro do estado do Paraná.

Código	Legenda	Cobertura (%)
19	Cultura anual e perene	27,421
21	Mosaico agricultura-pastagem	25,077
15	Pastagem	24,239
03	Formação florestal natural	9,958
20	Cultural anual semi-perene	8,213
33	Rios, lagos e oceanos	1,744
24	Infraestrutura urbana	1,042
13	Formação natural não florestal	1,035
09	Floresta plantada	1,010
99	Cafecultura	0,145
25	Não vegetada	0,114
12	Formação campestre	0,001
30	Mineração	0,001

Anexo C: análises estatísticas complementares

Tabela S2 Análise de correlação das variáveis preditoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/área por propriedade. Valores em negrito indicam correlações superiores a 0.75; as barras em azul indicam correlações positivas; as em vermelho indicam correlações negativas. **fnat**: PLAND_CLS03; **vege**: somatório do percentual de cobertura das classes de vegetação;; **iiap**: índice de intensidade de impacto da paisagem; **shei**: índice de equitabilidade de Shannon; **shdi**: índice de diversidade de Shannon; **enn**: vizinhança euclidiana média do vinho mais próximo de fragmentos de floresta nativa; **prox**: índice de proximidade de fragmentos de floresta nativa. **1k**, **2k**, e **3k**, indicam os raios de 1, 2 e 3 km respectivamente.

	fnat_1k	vege_1k	iiap_1k	shei_1k	shdi_1k	enn_1k	prox_1k	fnat_2k	vege_2k	iiap_2k	shei_2k	shdi_2k	enn_2k	prox_2k	fnat_3k	vege_3k	iiap_3k	shei_3k	shdi_3k	enn_3k	prox_3k		
fnat_1k	1,00																						
vege_1k	0,89	1,00																					
iiap_1k	0,67	0,72	1,00																				
shei_1k	0,21	0,25	0,33	1,00																			
shdi_1k	0,39	0,33	0,72	0,83	1,00																		
enn_1k	0,16	0,19	0,33	0,46	0,51	1,00																	
prox_1k	0,33	0,33	0,62	0,28	0,29	0,46	1,00																
fnat_2k	0,85	0,82	0,54	0,88	0,77	0,04	0,80	1,00															
vege_2k	0,83	0,82	0,60	0,83	0,55	0,13	0,81	0,97	1,00														
iiap_2k	0,47	0,49	0,79	0,85	0,80	0,30	0,39	0,56	0,60	1,00													
shei_2k	0,39	0,41	0,66	0,84	0,81	0,38	0,29	0,47	0,56	0,76	1,00												
shdi_2k	0,36	0,38	0,65	0,86	0,90	0,37	0,18	0,44	0,51	0,79	0,94	1,00											
enn_2k	0,45	0,48	0,70	0,73	0,69	0,20	0,30	0,62	0,67	0,80	0,80	0,81	1,00										
prox_2k	0,83	0,79	0,37	0,82	0,77	0,11	0,12	0,91	0,84	0,35	0,21	0,24	0,40	1,00									
fnat_3k	0,78	0,74	0,30	0,84	0,76	0,00	0,19	0,95	0,91	0,56	0,40	0,37	0,57	0,91	1,00								
vege_3k	0,73	0,72	0,37	0,83	0,74	0,13	0,21	0,92	0,96	0,59	0,53	0,48	0,64	0,80	0,93	1,00							
iiap_3k	0,38	0,40	0,74	0,84	0,81	0,28	0,31	0,48	0,51	0,88	0,73	0,74	0,74	0,29	0,53	0,53	1,00						
shei_3k	0,34	0,36	0,64	0,82	0,80	0,45	0,25	0,49	0,50	0,79	0,94	0,91	0,77	0,72	0,61	0,61	0,77	1,00					
shdi_3k	0,27	0,29	0,61	0,86	0,88	0,43	0,17	0,59	0,48	0,79	0,90	0,85	0,85	0,17	0,35	0,39	0,81	0,86	1,00				
enn_3k	0,46	0,48	0,76	0,79	0,77	0,23	0,30	0,56	0,60	0,89	0,83	0,85	0,93	0,36	0,54	0,59	0,87	0,82	0,84	1,00			
prox_3k	0,67	0,63	0,28	0,82	0,80	0,12	0,01	0,81	0,72	0,30	0,13	0,16	0,34	0,92	0,89	0,73	0,26	0,15	0,11	0,30	1,00		

Tabela S3 Análise de correlação das variáveis preditoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/intensidade de manjo por propriedade. Valores em negrito indicam correlações superiores a 0.75; as barras em azul indicam correlações positivas; as em vermelho indicam correlações negativas. **imnn**: índice de intensidade de manejo; **vari**: riqueza de cultivos de café cultivados; **idad**: tempo (anos) de cultivo de café na propriedade.

	imnn	vari	idad
imnn	1.00		
vari	-0.05	1.00	
idad	0.04	0.19	1.00

Tabela S4 Análise de correlação das variáveis predictoras (métricas de paisagem) para o modelo de produção/área por município. Valores em negrito indicam correlações superiores a 0.75; as barras em azul indicam correlações positivas; as em vermelho indicam correlações negativas. **shdi**: índice de diversidade de Shannon; **shei**: índice de equitabilidade de Shannon; **prox**: índice de proximidade de fragmentos de floresta nativa; **enn**: vizinhança euclidiana média do vinho mais próximo de fragmentos de floresta nativa; **iiap**: índice de intensidade de impacto da paisagem; **vege**: somatório do percentual de cobertura das classes de vegetação; **fnat**: PLAND_CLS03.

	shdi	shei	prox	enn	iiap	vege	fnat
shdi	1,00						
shei	0,98	1,00					
prox	0,29	0,27	1,00				
enn	-0,56	-0,58	-0,41	1,00			
iiap	-0,67	-0,65	-0,42	0,89	1,00		
vege	0,58	0,59	0,77	-0,74	-0,75	1,00	
fnat	0,56	0,56	0,75	-0,80	-0,80	0,96	1,00

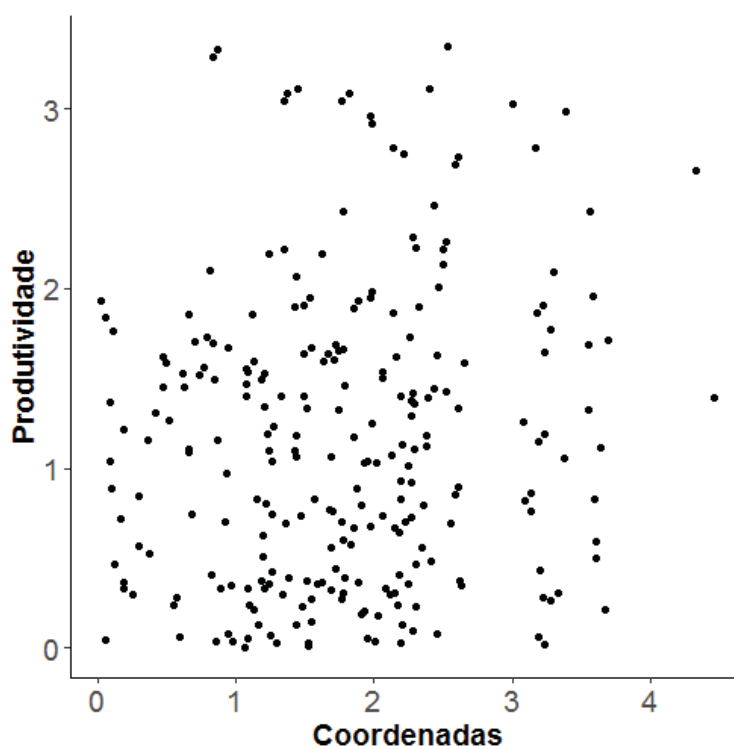


Figura S2 Autocorrelação espacial das propriedades levando em conta as coordenadas das propriedades, x e a produtividade das propriedades, y ($r^2 = 0.123$, $p = 0.090$). A linha em azul indica a regressão linear e em cinza o intervalo de confiança.

FINANCIAMENTO

Esta dissertação foi desenvolvida como parte integrante do projeto intitulado “Avaliação bioeconômica do serviço de polinização na cafeicultura ao longo de um gradiente de sustentabilidade de métodos de cultivo” aprovado na chamada pública “CNPq/MCTIC/IBAMA/Associação ABELHA Nº 32/2017” que tem como financiador o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Eu tô feliz, eu tô cansado, eu tô feliz...