

Aplicações da Linguagem R em Análises de Vegetação

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa
(Organizadores)

Aplicações da Linguagem R em Análises de Vegetação

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 Aplicações da linguagem R em análises de vegetação [recurso eletrônico] / Organizadores Écio Souza Diniz, Pedro Manuel Villa. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-35-5

DOI 10.22533/at.ed.355200903

1. Desenvolvimento sustentável. 2. R (Linguagem de programação de computador). 3. Recursos vegetais – Manejo. I. Diniz, Écio Souza. II. Villa, Pedro Manuel.

CDD 333.7511

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Os diferentes tipos de vegetação ao redor do globo, principalmente as florestas tropicais, se destacam por fornecer importantes bens e serviços ecossistêmicos para a humanidade como, por exemplo, regulação climática, provisão de alimentos e diversas fontes de energia. Contudo, as crescentes e rápidas mudanças no meio ambiente causadas por sua intensa exploração no século 21 têm promovido reduções drásticas de importantes vegetações distribuídas em distintos Biomas. O Brasil como um país de dimensão continental e rico em recursos vem atravessando profundas transformações em seus Biomas, o que é destacadamente devido aos usos intensos da terra sem técnicas adequadas de manejo para a sua exploração.

Diante desse panorama de significativas transformações do meio natural, se faz necessário e urgente o estudo de diferentes tipos de comunidades vegetais e ecossistêmicas para definir estratégias de manejo e conservação, assim como pesquisas que visem a otimização de produções agrícolas de forma sustentável. A união de compreensão ecológica precisa e adequadas técnicas de manejo permitem uma exploração sustentável a longo-prazo dos recursos vegetais, assegurando manutenção de diversidade e provisões para o futuro.

A execução de estudos robustos para alcançar essa interface entre conservação e exploração demanda o uso de eficientes ferramentas analíticas. Dentre essas ferramentas, as linguagens de programação têm se sido importantes aliadas para obtenções de predições e resultados estatísticos confiáveis e informativos. A linguagem contida no software R é a mais amplamente utilizada para processamento de dados e análises de vegetação. O R engloba diversos pacotes importantes para análises de dados de plantas em diversos contextos ecológicos e agrários. Com seus diversos pacotes, o R permite a busca mais apurada pela compreensão de padrões e processos ecológicos, avaliação de impactos antrópicos sobre vegetação, monitoramentos e previsões de condições do solo para plantios e predições de efeitos de mudanças climáticas em florestas. Essa gama de possibilidades analíticas amplifica o acerto em tomadas de decisão com relação ao uso dos nossos recursos naturais de forma geral.

Este livro tem como objetivo trazer uma compilação de algumas potencialidades do software R para análise de vegetação, contribuindo para o aumento da capacidade técnica de diversos profissionais das áreas de Ciências da Terra ou Naturais no uso dessa poderosa ferramenta analítica. Para tal, os capítulos aqui presentes discorrem de forma aplicada sob temas em contextos ecológicos e agrários. Todos os capítulos possuem links de compartilhamento livre de dados e scripts com códigos para execução das análises que eles abordam no R. Assim, desejamos que o conteúdo aqui presente auxilie você leitor (a) em sua tarefa analítica, amplificando a obtenção de resultados informativos e potenciais de aplicação prática.

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
BIOVEG – A PROTOCOL TO LEARN AND TEACH STATISTICS IN R USING VEGETATION DATA	
Écio Souza Diniz Jan Thiele	
DOI 10.22533/at.ed.3552009031	
CAPÍTULO 2	11
RAREFACTION AND EXTRAPOLATION OF SPECIES DIVERSITY DURING NEOTROPICAL FOREST SUCCESSION: AN R ROUTINE USING INEXT PACKAGE	
Pedro Manuel Villa Sebastião Venâncio Martins Écio Souza Diniz Antonio J. Pérez-Sánchez Gustavo Heringer Alice Cristina Rodrigues Daniela Schmitz Júnia Maria Lousada Herval Junior Pinto Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009032	
CAPÍTULO 3	20
PHYTOSOCIOLOGY IN R: A ROUTINE TO ESTIMATE PHYTOSOCIOLOGICAL PARAMETERS	
Gustavo Heringer Pedro Manuel Villa Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009033	
CAPÍTULO 4	30
ANÁLISE DE DADOS DE DESMATAMENTO COM R: VISUALIZAÇÃO INTERATIVA COM SHINY	
Carlos Eduardo Cardoso Mauricio Evandro Eloy João Paulo Martins dos Santos Alessandro Firmiano de Jesus	
DOI 10.22533/at.ed.3552009034	
CAPÍTULO 5	43
AVALIAÇÃO DE GRADIENTE PEDOAMBIENTAL USANDO ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) NA ANTÁRTICA MARÍTIMA	
Daniela Schmitz Pedro Manuel Villa Carlos Ernesto G.R. Schaefer Márcio Rocha Francelino	
DOI 10.22533/at.ed.3552009035	

CAPÍTULO 6	56
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FATORES AMBIENTAIS E ATRIBUTOS FLORESTAIS USANDO ROTINAS NO R	
Alice Cristina Rodrigues	
Pedro Manuel Villa	
Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009036	
CAPÍTULO 7	69
SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN SOIL AND PHYTOSOCIOLOGICAL INDICATORS OF ECOLOGICAL RESTORATION IN AN ATLANTIC FOREST SITE	
Camila Santos da Silva	
Marcos Gervasio Pereira	
Rafael Coll Delgado	
Emanuel José Gomes de Araújo	
Cristiane Figueira da Silva	
Daniel Costa de Carvalho	
Shirlei Almeida Assunção	
Israel Oliveira Ramalho	
Deyvid Diego Carvalho Maranhão	
Ariovaldo Machado Fonseca Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3552009037	
CAPÍTULO 8	82
MODELAGEM ESPACIALIZADA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO POR MEIO DO PACOTE AGRIWATER EM AMBIENTE R	
César de Oliveira Ferreira Silva	
Pedro Henrique Jandreice Magnoni	
DOI 10.22533/at.ed.3552009038	
CAPÍTULO 9	96
IMPACTO DO FOGO NO BANCO DE SEMENTES DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL ALTOMONTANA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG	
Júnia Maria Lousada	
Pedro Manuel Villa	
Gustavo Heringer	
Sebastião Venâncio Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3552009039	
CAPÍTULO 10	110
EFFECTS OF SPATIAL SCALE ON PEQUI ENTOMOFAUNA	
Gustavo Amorim Santos	
Deomar Plácido da Costa	
Suzana da Costa Santos	
Pedro Henrique Ferri	
DOI 10.22533/at.ed.35520090310	
CAPÍTULO 11	122
PIPELINE DE EXPRESSÃO DIFERENCIAL EM R APLICADO À <i>Arabidopsis thaliana</i>	
Sheila Tiemi Nagamatsu	
Lucas Miguel de Carvalho	

Luciana Souto Mofatto
Nicholas Vinícius Silva
Marcelo Falsarella Carazzolle
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090311

CAPÍTULO 12 138

MODELAGEM DE CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CANA ENERGIA SOB O ESTÍMULO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO

Luís Guilherme Furlan de Abreu
Lucas Miguel de Carvalho
Maria Carolina de Barros Grassi
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090312

CAPÍTULO 13 150

INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO POR FLAVONOIDE NO CRESCIMENTO DE CLONES COMERCIAIS DE *E. urophylla* e *E. urograndis*

Nicholas Vinícius Silva
Luciana Souto Mofatto
Mariana Teixeira Rebouças
Lucas Miguel de Carvalho
Sheila Tiemi Nagamatsu
Marcelo Falsarella Carazzolle
Jorge Lepikson Neto
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090313

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 166

ÍNDICE REMISSIVO 167

RAREFACTION AND EXTRAPOLATION OF SPECIES DIVERSITY DURING NEOTROPICAL FOREST SUCCESSION: AN R ROUTINE USING INEXT PACKAGE

Data de aceite: 12/02/2020

Pedro Manuel Villa

Laboratório de Restauração Florestal,
Departamento de Engenharia Florestal,
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas
Gerais, Brazil.
villautana@gmail.com

Sebastião Venâncio Martins

Laboratório de Restauração Florestal,
Departamento de Engenharia Florestal,
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas
Gerais, Brazil.

Écio Souza Diniz

Departamento de Engenharia Florestal,
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas
Gerais, Brazil

Antonio J. Pérez-Sánchez

Thünen Institute of Biodiversity, Bundesallee 65,
38116 Braunschweig, Germany/ Biodiversity of
Agricultural Landscapes, Institute of Geoecology,
Technische Universität Braunschweig,
Braunschweig, Germany

Gustavo Heringer

Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Aplicada, Universidade Federal de Lavras - UFLA,
Minas Gerais, Brasil.

Alice Cristina Rodrigues

Programa de pós-graduação em Botânica,
Departamento de Biologia Vegetal, Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

Daniela Schmitz

Programa de pós-graduação em Botânica,
Departamento de Biologia Vegetal, Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

Júnia Maria Lousada

Programa de pós-graduação em Botânica,
Departamento de Biologia Vegetal, Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

Herval Junior Pinto

Programa de pós-graduação em Botânica,
Departamento de Biologia Vegetal, Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

Andreza Viana Neri

Programa de pós-graduação em Botânica,
Departamento de Biologia Vegetal, Universidade
Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

ABSTRACT: The Amazon basin harbors the most important tropical forest in the world. Thus, quantifying and assessing changes in biological diversity are central aspects for Amazon forest management and conservation. Hill numbers approach is increasingly used to characterize the forest diversity. Here, we evaluate changes in tree species diversity along secondary succession by using the rarefaction and extrapolation (Hill numbers) approach in the Northern Amazon forest. We selected three sites over a 12 km² extension of an old-growth forest matrix with secondary forest patches of different stand ages. At each site, plant diversity of trees having diameter ≥ 5 cm was assessed.

We analyzed differences in woody species diversity among the four successional stages and the old-growth forest using individual-based rarefaction and extrapolation and coverage-based approaches. The lowest evenness was observed in the forest at the earliest successional stage, due to the presence of a few dominant species in the community; however, stabilized at the subsequent successional stages. We conclude that the forest stand heterogeneity between successional stages can be analyzed by the differences in diversity using individual-based rarefaction and extrapolation and coverage-based approaches.

KEYWORDS: bootstrapping, forest regrowing, sampled-based rarefaction and extrapolation, second-growth forests; tree dominance.

RAREFAÇÃO E EXTRAPOLAÇÃO DA DIVERSIDADE DE ESPÉCIES DURANTE SUCESSÃO DE FLORESTA NEOTROPICAL: UMA ROTINA R USANDO O PACOTE INEX

RESUMO: A bacia amazônica abriga a floresta tropical mais importante do mundo. Assim, quantificar e avaliar mudanças na diversidade biológica são aspectos centrais para o manejo e conservação da floresta amazônica. A abordagem dos números de Hill é cada vez mais usada para caracterizar a diversidade da floresta. Aqui, avaliamos mudanças na diversidade de espécies arbóreas ao longo da sucessão secundária, usando a abordagem de rarefação e extrapolação (números de Hill) na floresta do norte da Amazônia. Selecionamos três locais ao longo de uma extensão de 12 km² de uma matriz florestal madura com fragmentos de florestas secundárias de diferentes idades. Em cada localidade, foi avaliada a diversidade de plantas com diâmetro ≥ 5 cm. Analisamos as diferenças na diversidade de espécies lenhosas entre quatro estágios sucessionais e a floresta de crescimento antigo, usando abordagens de rarefação e extrapolação baseadas em indivíduos e cobertura baseadas em amostras. A menor equabilidade foi observada na floresta no estágio inicial de sucessão, devido à presença de algumas espécies dominantes na comunidade; no entanto, estabilizou nos estágios sucessionais subsequentes. A heterogeneidade ambiental entre estágios sucessionais pode ser analisada pelas diferenças de diversidade, utilizando abordagens baseadas em rarefação e extrapolação baseada em indivíduos e cobertura baseadas em amostras.

PALAVRAS-CHAVE: bootstrapping, dominância de árvores, floresta secundária, rarefação e extrapolação com base em amostras, regeneração florestal

1 | INTRODUCTION

The Amazon region provides important ecosystem services that have local and global impact (Zhang et al., 2015). However, human-induced biodiversity change impairs ecosystem services crucial to human well-being. For example, cutting and burning agriculture practiced for centuries are still the main agricultural system that

sustains human populations in the Amazon (Arroyo-Kalin et al., 2012; Villa et al., 2017). Intensification by shifting cultivation (SC) can seriously threaten the old-growth forests (OGF) and their biodiversity at the local scale (Jakovac et al., 2015; Barlow et al., 2016; Villa et al., 2018a). However, second-growth forest (SGF) recovery after anthropogenic disturbances represents an important reservoir of biodiversity (Chazdon, 2014; Rozendaal et al., 2019). Thus, information about species diversity recovery during succession can help to enhance our understanding of SGF dynamics and improve predictions on the impact of future climate and land-use changes for effective forest restoration and conservation policies.

Forest regeneration based in ecological succession approach, consists of the recovery of different components of the ecosystem, such as diversity, structure, and function over the time (Chazdon, 2014; Villa et al., 2018b; Poorter et al., 2019; Rozendaal et al., 2019). Most of the previous studies on the secondary succession in tropical forests have addressed the changes in species diversity comparing SGF and OGF (Chazdon et al., 2014; Rodendaal et al., 2019). For instance, this might be achieved by using the rarefaction approach (i.e. sampled and individual-based) with Hill numbers, species richness ($q = 0$), exponential of Shannon entropy (Shannon's diversity, $q = 1$), and inverse Simpson concentration (Simpson diversity, $q = 2$) between reference samples from different assemblages using datasets from old-growth and second-growth forests (Colwell et al., 2012; Chao et al., 2014). An advantage of Hill numbers is that they are all expressed in units of effective numbers of species: the number of equally abundant species that would be needed to give the same value of a diversity measure (Chao et al., 2014).

This approach of Hill numbers can allow evaluating the balance between dominance and evenness in the tree community during the succession (Colwell et al., 2012; Chao et al., 2014). Thus, Integrated curves based on sampling theory that smoothly link rarefaction (interpolation) and prediction (extrapolation) standardize samples on the basis of sample size or sample completeness and facilitate the comparison of biodiversity data along succession (Chao et al., 2014). On the other hand, there is an alternative approach that defines the non-asymptotic Hill numbers as the average Hill numbers over many samples of size m taken from the entire assemblage. This integrated sample-size- or coverage-based rarefaction/extrapolation sampling curve represents the estimated diversity accumulation curve based on the reference sample (Chao et al., 2014).

In this study, we analyzed the changes in tree species diversity along secondary succession using the individual-based rarefaction and extrapolation (Hill numbers) and coverage-based approaches in the Northern Amazon forest. In order to evaluate the tree species diversity patterns (i.e. three Hill numbers), we asked the following scientific questions: does species diversity change during SGF recovery in comparison

with an old-growth forest? We hypothesize that tree diversity after shifting cultivation should be lower in the early successional assemblage, that is dominated by the abundance of one or a few common species (i.e. using individual-based rarefaction and extrapolation curves), compared with the old-growth forests. Thus, we presumed that areas undergoing regeneration may harbor higher tree species diversity during succession where dominance declines and increases the species coexistence of early successional and fast-growing pioneer species competitive for light.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

The study was conducted in a semi-deciduous forest on the Cataniapo river basin, around and close to the indigenous communities of Piara de Gavilán and Sardi (613020 E, 679290 N, UTM), at the municipality of Atures, Amazon state, Venezuela. Climate in the study area is tropical rainy with dry season of two-months (December and January). Mean annual temperature and annual precipitation are 28 °C and 2700 mm, respectively. The predominant soil types are Oxisols (Latosols) and Ultisols (red clay soils), with low cation exchange capacity, low nutrient content and high acidity levels (Villa et al., 2018a).

2.2 Forest survey

We selected three sites over a 12 km² extension of land in an old-growth forest matrix with secondary-forest patches, of different stand ages, which have been abandoned after a single cycle of traditional shifting cultivation and left to regenerate naturally. Sampling sites were systematically selected according to their successional stages, being identified with the assistance of local farmers and experts. A total 45 plots (20 x 50 m = 1000 m², each) were established from January 2009 to December 2012. At each site, we selected four secondary forests at different successional stages: 5, 10, 15, and 20 years of succession; and one old-growth forest (> 100 years old). Three plots were established within each secondary forest as well as within the old-growth forest, at each site.

In each plot, all trees having diameter at breast height (DBH) \geq 5 cm were identified to the species level and tagged for measurement. The tagged specimens were identified at the Julian Steyermark herbarium of Puerto Ayacucho (Ministry of the Environment, Amazonas state, Venezuela). The *Angiosperm Phylogeny Group IV* (APG IV, 2016) was used to classify taxa.

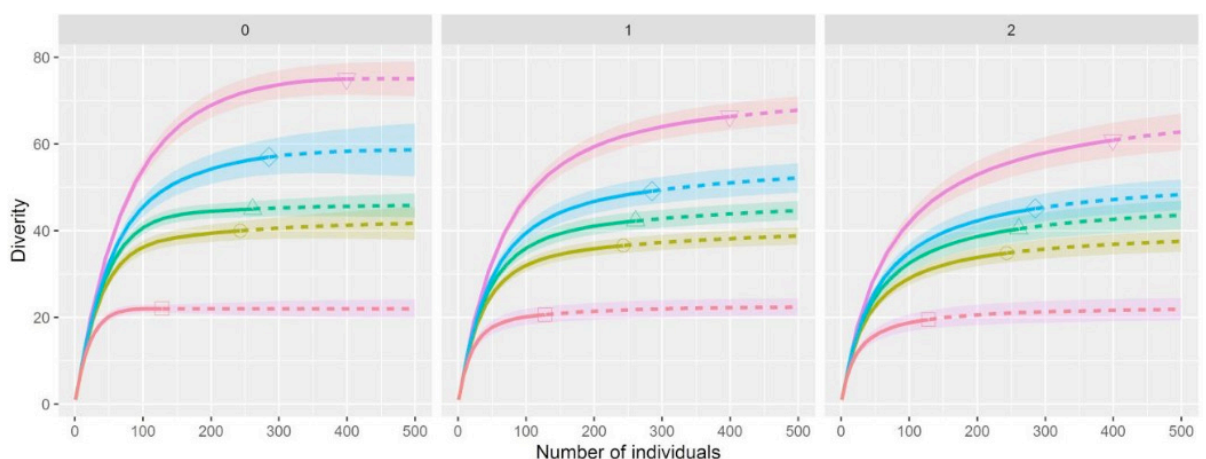
2.3 Statistical analyses

All analyses were carried out using R version 3.4.3 (R Core Team 2018). We analyzed differences in species richness and diversity among the four second growth (SGF) forests with different successional stages and the old-growth forest using both individual-based (Colwell et al., 2012) and coverage-based (Chao and Jost, 2012) approaches. Species diversity curves were constructed with Hill numbers: species richness ($q = 0$), exponential of Shannon entropy (Shannon's diversity, $q = 1$), and inverse Simpson concentration (Simpson diversity, $q = 2$), for both individual-based rarefaction and extrapolation curves (Jost, 2007; Colwell et al., 2012; Chao et al., 2014). We then constructed coverage-based rarefaction and extrapolation curves of species richness for each assemblage. Extrapolations were made from a presence/absence data matrix (Hill numbers of order 0), being higher than thrice the sample size (Colwell et al., 2012). Sample-based rarefaction/extrapolations with 95% confidence intervals were computed using the 'iNEXT' package (Hsieh et al., 2016).

All three Hill numbers were estimated as the mean of 100 replicate bootstrapping runs to estimate 95% confidence intervals. Whenever the 95% confidence intervals did not overlap, species numbers differed significantly at $p < 0.05$ (Colwell et al., 2012).

3 | RESULTS

We observed differences in species diversity among the successional stages. The species richness curves showed a clear trend of change over time after shifting cultivation (Fig. 1). Individual-based rarefaction and extrapolation curves showed higher tree species richness in the old-growth forest than in SGF at early and intermediary successional stages. Although their confidence intervals overlapped slightly only obtained through extrapolation among 15 and 20 years of succession after shifting cultivation (Fig. 1). Effective number of species calculated by the Hill number $q = 0$ reach an asymptote after extrapolated.



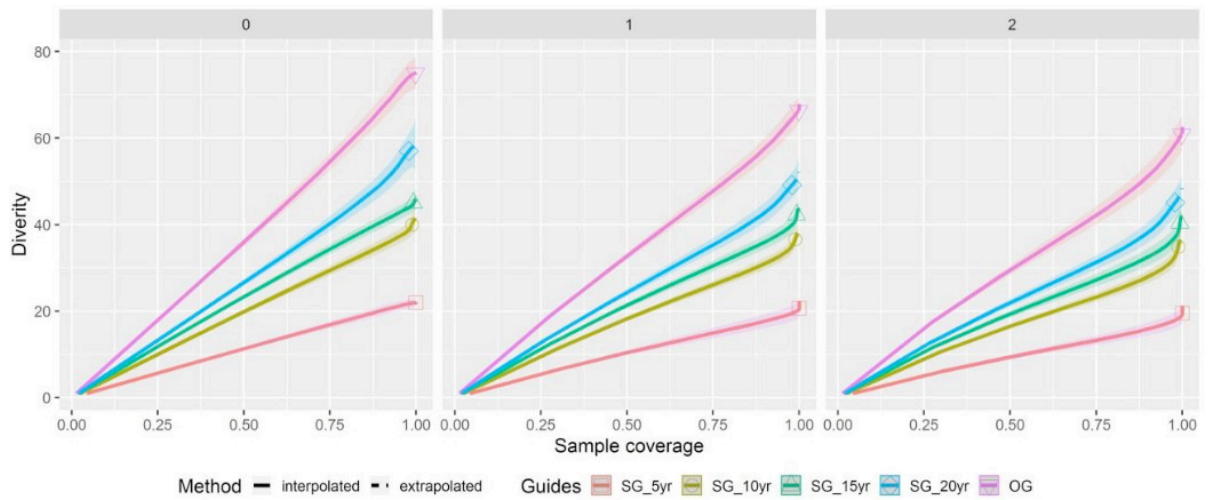


Fig. 1. Individual-based and coverage-based rarefaction (solid line) and extrapolation curves (dashed lines) of tree diversity on the Hill numbers ($q = 0, 1, 2$) for the four successional stages and old growth forest.

All three Hill numbers increased consistently along the succession to old-growth forest. However, there was a decrease in the diversity values among successional stages ($q = 0 > q = 1 > q = 2$). Shannon's and Simpson's diversities were asymptotic, with no increase in values even when they were extrapolated to double the reference sample size, except for the forest at the SGF earliest successional stage (Fig. 1).

Coverage-based rarefaction and extrapolation curves revealed higher species richness in the old-growth forest than in forests at early and intermediary successional stages. Sample coverage for all sites remained under $\sim 100\%$ (Fig. 1).

4 | DISCUSSION

The effective number of species richness calculated by the Hill numbers ($q = 0$) reached an asymptote after being extrapolated. Its confidence intervals slightly overlapped when obtained through extrapolation, in secondary forests with 15 and 20 years of succession after shifting cultivation (Fig. 1). As for the rarefaction curves constructed with the other Hill numbers $q = 1$ and $q = 2$ (exponential of Shannon and inverse Simpson, respectively), they also indicated that tree diversity was significantly higher in OGF than in secondary forests. However, the estimated diversity with these numbers tended to decrease when compared with richness ($q = 2 < q = 1 < q = 0$), except during the earliest successional stage. This pattern provides an additional evidence that corroborates the facts that there is less evenness during early successional stages and that dominance tends to decrease along succession. The increase in diversity from early succession through two decades later may also be related to the decreased dominance of species with highest abundance values. Similarly, the decrease observed with inverse Simpson, which estimates the diversity

of dominant species (Chao et al., 2014), can be partly explained by a more uniform distribution of abundance. On the other hand, coverage-based rarefaction curves showed that the observed number of individuals (i.e. up to the points indicated by the shapes in each forest type) indicate 90% of the individuals in the community belonging to species in the samples.

4.4 Implications for forest management and conservation

Understanding how shifting cultivation affects the long-term recovery of tropical secondary forests is critical to assess the conservation value of biodiversity. While there is a constant pressure for land-use change on Amazonian forests, their future will also depend on the improvement of conservation, management and restoration methods. Our results demonstrate the high potential for diversity recovery of those forests after they have undergone agricultural disturbance, as their levels of species richness can approach the ones of old-growth forests within two decades (Villa et al. 2018b; Rozendaal et al., 2019). However, it is also necessary to consider the importance of species composition recovery, which is a much slower process (Finegan, 1996; Rozendaal et al., 2019), that may be relevant to the multiple ecosystem functions. Thus, it should be taken as a premise that a single cycle of shifting cultivation in the northern region of the Amazon still represents an opportune time to take conservation actions. Therefore, it would be necessary to avoid a second or further cycles of shifting cultivation in the same previously used areas. Otherwise, such land use pattern based on multiple cycles of shifting cultivation can reduce diversity recovery and consequently expand the proportion of degraded areas in the Amazon forest.

Despite the recent research findings that diversity in tropical forests is made up by different components (i.e. taxonomic, functional, and phylogenetic diversities), taxonomic diversity still remains with a high relevance for the understanding of ecological patterns and processes that take place during succession, especially due to its importance for recovery practices. On the other hand, it may be relevant to assess other taxonomic diversity metrics that could also contribute to elucidate emergent patterns during succession. The use of Hill numbers for instance has been few explored in the studies on secondary forests succession. For that reason, we propose the adoption of the individual-based rarefaction and extrapolation (Hill numbers) and coverage-based as complementary approaches to evaluate the recovery potential of forests after anthropogenic disturbances.

5 | CONCLUSIONS

The diversities estimated with Hill numbers $q = 1$ and $q = 2$ lead us to conclude

that they tend to decrease when compared with richness ($q = 0$), except during the earliest successional stage. This pattern corroborates the lower evenness observed during early stages and the decreasing dominance observed along succession.

6 | DATA AND SCRIPT ACCESSIBILITY

doi.org/10.13140/RG.2.2.18862.46407

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Piaroa's Indigenous Community who allowed and contributed to this research in its traditional area. We also thank the National Institute of Agricultural Research (INIA-Amazonas) for research and logistics support. This research was funded by the Global Environment Facility (GEF-grant VEN/SGP/2010-2015); implementing agent United Nations Development Program, and the National Science and Technology Fund (FONACIT project number 2011000540). The first author received scholarships from Organization of American States (OAS) and PDJ from the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq), Brazil.

REFERENCES

- APG IV, (2016). An update of the Angiosperm Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* 141, 399–436.
- Arroyo-Kalin, M., (2012). Slash-burn-and-churn: Landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. *Quatern. Int.* 249, 4–18.
- Barlow, J., Lennox, G.D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Mac Nally, R., Thomson, J.R., Ferraz, S.F.B., Louzada, J., Oliveira, V.H.F., et al., (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535, 144–147.
- Colwell, R.K., Chao, A., Gotelli, N.J., Lin, S.Y., Mao, C.X., Chazdon, R.L., Longino, J.T., (2012). Models and estimators linking individual-based and sample based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *J. Plant Ecol.* 5, 3–21.
- Chao, A., Jost, L., (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93, 2533–2547.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K., Ellison, A.M., (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr.* 84, 45–67.
- Chazdon, R.L., (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation.* University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Finegan, B., (1996). *Pattern and process in neotropical secondary rain forests: The first 100 years of*

succession. *Trends Ecol. Evol.* 11, 119-124.

Hadley, W., (2015). R ggplot2 package: An implementation of the grammar of graphics. <http://ggplot2.org>, <https://github.com/hadley/ggplot2>.

Hsieh, T.C., Ma, K.H., Chao, A., (2016). iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.12. <https://cran.r-project.org/web/packages/iNEXT/iNEXT.pdf>.

Jakovac, C.C., Peña-Claros, M., Kuyper, T.W., Bongers, F., (2015). Loss of secondary-forest resilience by land-use intensification in the Amazon. *J. Ecol.* 103, 67–77.

Jost, L., (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88, 2427–2439.

Poorter, L., Rozendaal D. M., Bongers F., Almeida-Cortez J. S. et al. (2019). Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time. *Nature Ecology Evolution*, 3: 928-934.

R Core Team, (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rozendaal, D. M. A., Bongers, F., Aide, T. M., Alvarez-Dávila, E., Ascarrunz, N., Balvanera, P., Becknell, J. M., Bentos, T. V., Brancalion, P. H. S, Cabral, G. A. L., Calvo-Rodriguez, S., Chave, J., et al. (2019). Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. *Science Advance*, 5:3114.

Villa, P.M., Martins, S.V., Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Martorano, L., Delgado, L., Cancio, N.M., Gastauerg, M., (2018a). Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern Amazon. *For. Ecol. Manage.* 430, 312-320.

Villa, P.M., Martins, S.V., Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Vieira, N., Delgado, L., Cancio, N.M., (2018b). Woody species diversity as an indicator of the forest recovery after shifting cultivation disturbance in the northern Amazon. *Ecol. Indic.* 95, 687-694.

Villa, P.M., Martins, S.V., Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., (2017). Anthropogenic and biophysical predictors of deforestation in the Amazon: towards integrating REDD+ activities. *Bosque* 38, 433-446.

Zhang, K., de Almeida Castanho, A.D., Galbraith, D.R. et al. (2015). The Fate of Amazonian Ecosystems over the Coming Century Arising from Changes in Climate, Atmospheric CO₂, and Land Use. *Glob. Chang. Biol.* 21, 2569–2587.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abundance 3, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 69, 72, 74, 75, 79, 80, 97, 110

Abundância 21, 70, 96, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 110

Análise de correlação 43

Análise multivariada 43, 45, 55

Arabidopsis thaliana 122, 123, 125, 126, 135, 136

B

Biomassa 57, 83, 99, 106, 138, 139, 140, 150, 151, 152

Bootstrapping 12, 15

C

Cana-de-açúcar 81, 138, 139, 140, 141, 142, 146, 147, 148

Cana energia 138, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148

Caryocar brasiliense 110, 111, 121

Chalcona 151, 152, 153, 159

Chemical variability 110

Classificação de habitats 56

Cobertura vegetal 21, 44

Computational programming 1

Crescimento 12, 36, 107, 125, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162

D

Dados da vegetação 1, 2

Desmatamento 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 80

Dominance 12, 13, 14, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 27, 97

Dominância 12, 21, 96, 98, 106, 107

Dominância de árvores 12

E

Ecologia do fogo 96

Elevação 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67

Estatística 2, 30, 31, 34, 38, 42, 43, 45, 53, 59, 142, 144, 145, 147, 153, 154, 155, 166

Estrutura da vegetação 21, 70, 96

Estrutura florestal 56

Ethephon 138, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149

Eucalyptus 150, 151, 152, 164, 165

Evapotranspiração 82, 83, 85, 86, 89, 90, 93, 94

Expressão diferencial 122, 124, 126, 127, 128, 133, 134, 135, 152

Extrapolação com base em amostras 12

F

Fatores bióticos e abióticos 56, 57
Flavonoids 112, 113, 114, 151, 165
Floresta secundaria 12
Forest planting 70
Forest regrowing 12
Forest restoration 13, 29, 70, 79

G

Geostatistics 70, 71, 74
Gradiente ambiental 43, 53, 56

I

Importance value index 20, 27, 28
Índice de valor de importância 21, 102
Insects 110, 111, 112

K

Kriging 56, 57, 69, 73, 75

M

Modelagem matemática 139

N

Naringenina 151

P

Pacote agrewater 82, 83, 89, 90, 93
Phytosociological characterization 70
Programação computacional 2
Propriedades do solo 43, 45, 46, 53

R

R. Análise exploratória 30
Rarefação 12
Regeneração florestal 12
Regeneração natural 96, 98, 107
Resiliência 96, 98, 106, 107
R language 1, 9, 22, 28, 123

S

Safer 82, 83, 85, 86, 88, 90
Sampled-based rarefaction and extrapolation 12

Savanização de florestas 96
Second-growth forests 12, 13
Shiny 30, 31, 32, 33, 37, 42, 133
Soil attributes 44, 55, 70, 71, 74
Soil nutrients 110, 111, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 120
Spatial variation 110, 113, 116, 117, 119, 121
Statistics 1, 8, 74, 80, 120

T

Transcriptômica de plantas 122
Tree dominance 12

V

Vegetation cover 7, 20
Vegetation data 1, 3, 8, 28
Vegetation structure 20, 21, 70

 **Atena**
Editora

2 0 2 0