

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)

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

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

Data de aceite: 12/02/2020

Luís Guilherme Furlan de Abreu

Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Biologia - Departamento de Genética, Evolução e Bioagentes – Laboratório de Genômica e Bioenergia - LGE, Campinas, São Paulo, Brasil

Lucas Miguel de Carvalho

Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Biologia - Departamento de Genética, Evolução e Bioagentes – Laboratório de Genômica e Bioenergia - LGE, Campinas, São Paulo, Brasil

Maria Carolina de Barros Grassi

Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Biologia - Departamento de Genética, Evolução e Bioagentes – Laboratório de Genômica e Bioenergia - LGE, Campinas, São Paulo, Brasil

Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Biologia - Departamento de Genética, Evolução e Bioagentes – Laboratório de Genômica e Bioenergia - LGE, Campinas, São Paulo, Brasil

RESUMO: Um dos maiores desafios a serem superados é garantir o suprimento sustentável de água, energia e alimento a toda a população mundial, reduzindo impactos negativos no ambiente. Os avanços recentes na biotecnologia vêm revolucionando o setor sucroenergético através do desenvolvimento de novas variedades de cana para geração

de energia, e que apresenta grande potencial para garantir alta produtividade de biomassa, consequentemente açúcar e etanol. Entretanto, uma forma de melhorar a produtividade da cana é através do uso de reguladores químicos de crescimento; por exemplo, se destaca o Ethephon. O Ethephon é um versátil regulador, que atua na via do hormônio vegetal etileno, promovendo o crescimento das plantas. Neste contexto, a avaliação e monitoramento do crescimento das plantas podem ser factíveis através de modelos matemáticos capazes de prever o padrão de crescimento destas plantas ao longo do tempo. Este capítulo teve como objetivo testar um modelo matemático capaz de prever o crescimento de variedades de cana-de-açúcar e cana energia, tratadas com Ethephon. Assim, foi utilizado software R, para o desenvolvimento de comandos necessários para a criação de um modelo de crescimento não-linear. Além disso, mostramos que o modelo matemático a ser usado, pode prever o crescimento da altura da planta em qualquer tempo desejado (valor t). Mostramos um modelo estatístico a ser seguido, embora nossos resultados não mostrem diferença significativa entre o Ethephon e controle (sem Ethephon) nas duas variedades utilizadas. Verificamos uma diferença no padrão de crescimento entre cana-de-açúcar e cana energia.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar; Cana

energia; Crescimento; Ethephon; Modelagem matemática.

ABSTRACT: One of the biggest challenges to overcome is ensuring the sustainable supply of water, energy and food to the entire world population, reducing negative impacts on the environment. Recent advances in biotechnology have been revolutionizing the sugarcane industry through the development of new sugarcane varieties for power generation, and which has great potential to ensure high productivity of biomass, hence sugar and ethanol. However, one way to improve sugarcane productivity is through the use of chemical growth regulators; for example, the Ethephon stands out. Ethephon is a versatile regulator that acts in the pathway of the plant ethylene hormone, promoting plant growth. In this context, the evaluation and monitoring of plant growth may be feasible through mathematical models capable of predicting the growth pattern of these plants over time. This chapter aimed to test a mathematical model capable of predicting the growth of sugarcane and energy cane varieties treated with Ethephon. Thus, R software was used to develop the necessary commands to create a nonlinear growth model. In addition, we show that the mathematical model to be used can predict growth of plant height at any desired time (t value). We show a statistical model to follow, although our results show no significant difference between Ethephon and control (without Ethephon) in the two varieties used. We found a difference in the growth pattern between sugar cane and energy cane.

KEYWORDS: Sugarcane; Energy cane; Growth; Ethephon; Mathematical modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das maiores barreiras a serem superadas para os países em desenvolvimento é assegurar o suprimento de recursos naturais essenciais – água, energia e alimento – sem prejudicar a qualidade de vida, conservação dos ecossistemas e desenvolvimento econômico para atuais e futuras gerações (Ringler et al., 2013). Sem mudança de hábitos e adoção de novas tecnologias, haverá significativo aumento na demanda por água (55%), energia (80%) e alimentos (60%), o que poderá agravar o cenário atual (Ringler et al., 2013). O consumo de energia baseada em combustíveis fósseis (carvão e petróleo) no mundo é alarmante e aumentou 52% entre 1990 e 2015 (Ritchie & Roser, 2017), principalmente no setor de serviços e transporte, agravando o cenário de aquecimento global com o aumento da emissão de gases do efeito estufa (principalmente CO₂).

Em paralelo, recentes avanços nas tecnologias industriais e na biotecnologia têm possibilitado a produção e a fermentação de açúcares solúveis (transformação de energia) gerados a partir da desconstrução da biomassa (celulose e hemicelulose), produzindo o chamado etanol de segunda geração (Matsuoka, 2017; Santos et al., 2016). Para o Brasil esta é uma estratégia vantajosa, pois a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é capaz de fornecer biomassa de baixo custo, sendo aproveitado

para a produção de etanol com potencial de aumentar a produção nacional em 40%. A cana-de-açúcar é considerada uma das matérias-primas mais apropriadas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial de acumulação de biomassa e sacarose. O desenvolvimento de tecnologias para a produção de biocombustíveis, a busca por cultivares capazes de produzir quantidades maciças de biomassa lignocelulósica, mantendo alto o rendimento de açúcar, tem revolucionado o melhoramento da cultura de cana. A seleção de híbridos com alta quantidade de biomassa resultou em indivíduos com 180 toneladas de peso úmido por hectare (ha), duas vezes mais que a cana-de-açúcar convencional (92 toneladas de peso úmido por ha) (Carvalho-Netto et al., 2014). Esses híbridos são conhecidos como cana energia. Mesmo com o equilíbrio de carbono orientado mais para a formação da parede celular (16-30% de teor de fibra) e não tanto ao acúmulo de açúcares solúveis (12% de açúcar), a cana energia consegue superar a cana convencional na produção de açúcares dada a enorme produção de biomassa (Santos et al., 2016).

Por ser propagada vegetativamente, o conhecimento do processo de brotação e crescimento inicial da cana, bem como nos fenômenos que interferem, reveste-se de grande importância para a cultura, pelo fato de que um canavial será explorado por um período médio de cinco anos (Casagrande, 1991). O crescimento de um canavial consiste na medida sequencial do acúmulo da matéria orgânica na planta e condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo (Magalhães, 1985). O uso de reguladores químicos pode auxiliar no crescimento das plantas. Os reguladores de crescimento podem ser classificados em cinco grupos, auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico. Um dos modos de utilização do etileno é através da aplicação do composto químico comercial Ethephon. O Ethephon é um versátil regulador de crescimento, sendo rapidamente metabolizado por plantas através da hidrólise, produzindo gás etileno, ácido fosfórico e ácido clorídrico; produtos não tóxicos e encontrados naturalmente em todas as plantas (Solomon et al., 1988).

Neste contexto, com o intuito de evitar perdas na produtividade, modelagens matemáticas capazes de prever o padrão de crescimento das plantas são fundamentais para culturas com alto valor econômico, como no caso a cana-de-açúcar e cana energia. Nos últimos anos, com os avanços dos softwares estatísticos e o ajuste do modelo não-linear de crescimento, uma ampla variedade de modelos matemáticos podem ser exploradas (Pinheiro & Bates 2000; Ritz & Streibig 2008). O objetivo deste capítulo é demonstrar a metodologia de análise de um modelo matemático de crescimento, assim como análises estatísticas utilizando software R. Utilizamos os dados iniciais de crescimento da altura ao longo do tempo de cana-de-açúcar e cana energia, tratadas com Ethephon e apenas água como controle.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e condições do experimento

O material vegetal utilizado para o experimento foi obtido no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Cultivar comercial de cana-de-açúcar (CTC4) e cana energia (Vertix 12) com aproximadamente 10 meses de idade, foram utilizadas neste estudo. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil (22°49'09.7"S, 47°04'16.4"W) em novembro de 2018. Foram utilizados os colmos +3 ao +14 das duas variedades, os colmos foram padronizados em comprimento, diâmetro e peso para garantir a mesma quantidade de reserva nutritiva. Além disso, os colmos obtidos para os experimentos foram provenientes de plantas individuais, de diferentes perfilhos. Estes colmos foram aleatoriamente imersos em solução de Ethephon (100 ppm) e água como controle, por *overnight*. Em seguida, foram distribuídos em bandejas de plásticos (38 cm de comprimento × 29 cm de largura × 6,5 cm de altura) contendo 2,5 litros de vermiculita expandida super fina (Global Minérios) e após ao plantio, foram cobertos com 1,4 litros de vermiculita, assegurando, desta forma, que todas as bandejas apresentasse a mesma quantidade de vermiculita. Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados em parcelas subdivididas. A irrigação ocorreu diariamente para que não houvesse estresse hídrico. A brotação e, conseqüentemente, o crescimento das plântulas foram analisados diariamente partir da medida do comprimento da parte aérea, diariamente.

2.2 Organização da planilha para análise no R

A planilha de dados consiste em 20 observações para cada uma das 18 plantas (réplicas técnicas), tanto para cana-de-açúcar (CTC4) quanto para cana energia (Vertix 12), com ambas em dois momentos: com Ethephon e o controle. Um total de 1440 anotações foi gerado.

Para a modelagem de crescimento foi anotado a média dos pontos dos dias das plantas que foram tratadas com Ethephon e ou controle para cada uma das variedades. Ao final temos quatro condições (CTC4_controle, CTC4_ethephon, VTX12_controle e VTX12_ethephon). Os dados estão resumidos nos vetores abaixo, que serão utilizados em toda a análise.

```

> setwd(".")
> vtx12_eth <- c(0,0,0,0.366666667,0.85,1.672222222, 2.616666667, 6.716666667,
7.605555556, 9.288888889, 10.71666667, 13.71666667, 14.72777778,
15.86111111, 16.97777778, 19.37777778, 21.14444444, 25.16666667,
25.83333333)

> vtx12_ct <- c(0,0.027777778, 0.061111111, 0.622222222, 1.044444444,
2.105555556, 3.533333333, 8.083333333, 8.905555556, 10.63333333,
12.62222222, 16.72222222, 18.17222222, 19.15, 20.78888889, 24.74444444,
27.25555556, 32.35, 34.12777778)

> ctc4_ct <- c(0,0,0,0.05,0.13125,0.25625,0.36875,0.493333333,0.625,
0.7875,1.46875,1.76875, 2.04375, 2.33125, 3.24375,3.9125,6.2125, 7.4375)

> ctc4_eth <- c(0,0,0, 0.129411765, 0.217647059, 0.229411765, 0.417647059,
0.8, 0.894117647,1.3, 1.617647059,3.476470588, 3.452941176, 4.252941176,
5.317647059,7.847058824, 9.464705882,14.09411765, 16.45294118)

> dias <- c(1,2,3,4,5,6,7,8,12,13,14,15,18,20,22,24,26,28,30)

```

2.3 Pacotes estatísticos e scripts

Os pacotes que foram utilizados para a modelagem e análise dos dados estão resumidos abaixo.

1) *nls()*: Determina as estimativas de mínimos quadrados não lineares dos parâmetros de um modelo não linear. Essa função espera como parâmetro uma fórmula de modelagem não linear, utilizaremos a função de regressão logística $P(t) = \frac{M}{1+e^{P_0+k*t}}$; um dataset de entrada e, dados iniciais para as interações do modelo, que no nosso caso seriam os valores de M , P_0 e k , já que t seria o valor dos dias observados (vetor 'dias').

2) *shapiro.test()*: utilizado para verificar o tipo de distribuição de probabilidade dos dados.. Sua hipótese nula H_0 é de que os dados não apresentam uma distribuição normal, logo, para que o dado seja normal, devemos verificar se o p-value do teste é superior a o valor de corte (utilizamos 0.05).

3) *wilcox.test()*: função de comparação estatística para dados não normais.

4) *t.test()*: função de comparação estatística para dados normais, realizado através do test-t de Student. Será utilizado em dados não pareados, já que o desenho foi desenhado dessa maneira.

3 I APLICAÇÃO DA MODELAGEM DE CRESCIMENTO

O primeiro passo é observar que o crescimento vegetativo tanto da cana-de-açúcar como a cana energia é não linear e, para isso, geramos o gráfico de dispersão (*scatter plot*) do crescimento médio da planta (tratado com Ethephon e controle) em função dos dias (Figura 1). O código para configurar a figura consiste em utilizar a função *par()* para gerar uma matriz de malhas de figura, que no nosso caso, foi uma 2x2. Além disso, a função *plot()* é utilizada para gerar os gráficos.

```

> setwd(".")
> windows()
> setwd("../Ethephon/")
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(dias,vtx12_ct,las=1,pch=16,main="VTX12 - Controle")
> plot(dias,vtx12_eth,las=1,pch=16,main="VTX12 - Ethephon")
> plot(dias,ctc4_ct,las=1,pch=16,main="CTC4 - Controle")
> plot(dias,ctc4_eth,las=1,pch=16,main="CTC4 - Ethephon")

```

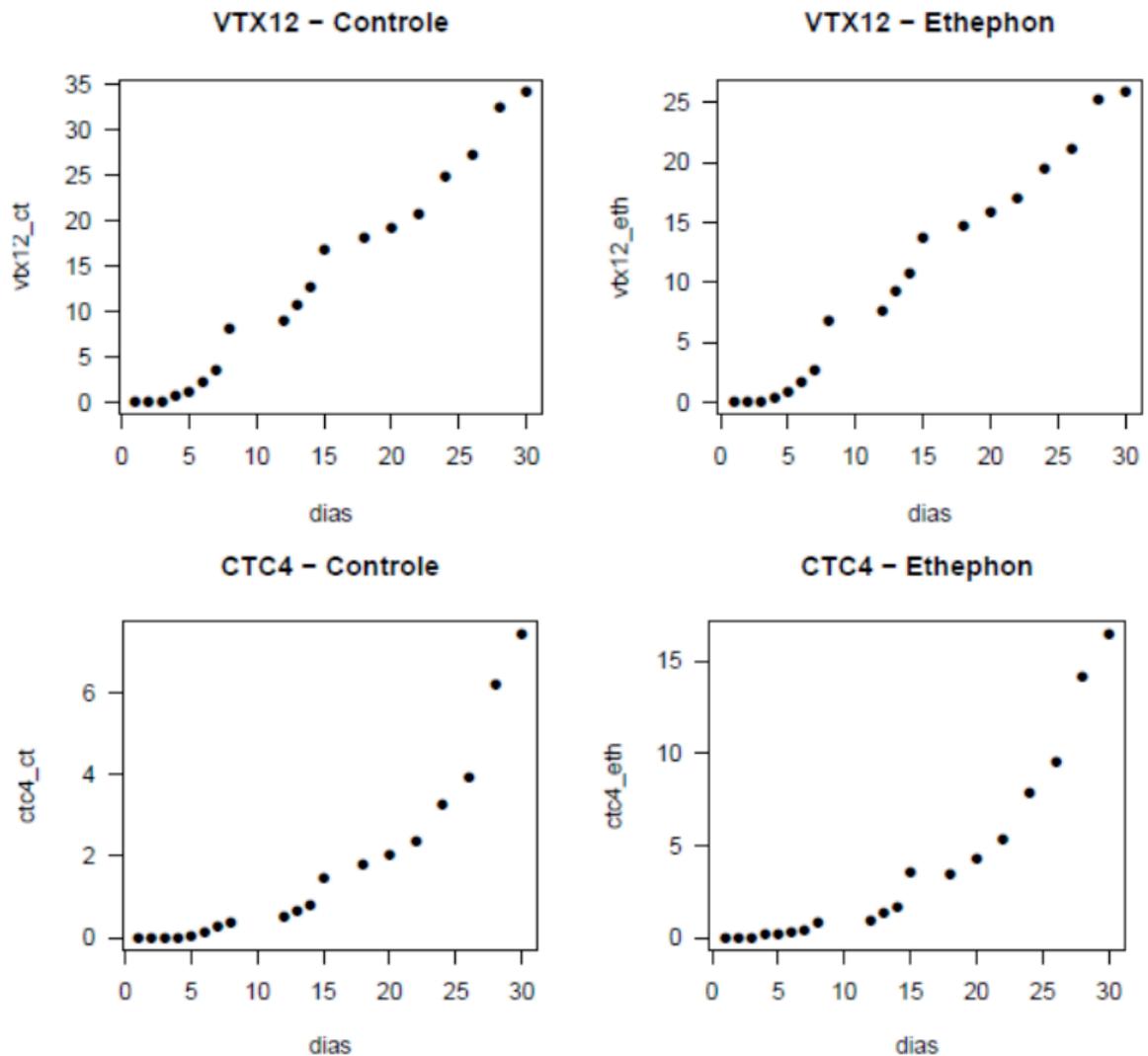


Figura 1. Gráfico de dispersão do crescimento de cada tratamento em função do tempo, em dias. Com esse tipo de gráfico fica evidente que o modelo de crescimento é não linear.

A execução da equação de modelagem se baseia em linearizar os pontos através de uma equação sigmod. Os comandos que geram os modelos do crescimento vegetativo das plantas tratadas com Ethephon e ou controle. O comando `summary()` consegue enunciar os dados e valores encontrados pelo modelo, já o comando `coef()` anota os coeficientes gerados no modelo. É apresentado abaixo o código para a geração do modelo de cana energia com Ethephon (vetor 'vtx12_eth').

```

> logisticModel1 <- nls(vtx12_eth~M/(1+exp(Po+k*dias)), start=list(Po=0, k=-0.21, M=17))
> summary(logisticModel)
Formula: vtx12_eth ~ M/(1 + exp(Po + k * dias))

Parameters:
  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Po 3.23501  0.32066  10.089 2.43e-08 ***
k -0.19302  0.02788  -6.923 3.43e-06 ***
M 26.11089  2.09877  12.441 1.22e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.704 on 16 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 13
Achieved convergence tolerance: 4.901e-06

> coef(logisticModel1)
      Po      k      M
3.2350056 -0.1930236 26.1108931

```

Como resultados observados no modelo, notamos que os valores de M , P_0 e k foram estatisticamente significativos (ambos com $p\text{-value} \leq 0.05$). Ainda nota-se que, após 13 iterações, o modelo atingiu a consistência estatística ($p\text{-value} = 4.901e-06 \leq 0.05$). Com os valores gerados pelo comando `coef()`, chegamos a fórmula da modelagem para a cana energia:

$$P(t) = \frac{26.1109}{1 + e^{3.235 - 0.1930 * t}}$$

Com a fórmula da modelagem de crescimento, podemos prever qual será o tamanho da planta após t dias. A escolha do modelo é importante para que a predição possa ser analisada, já que alguns modelos tomam como hipótese um crescimento contínuo, como o modelo linear, e outros um plateau após t dias, como o sigmod. Os modelos para as outras condições de interesse poderão ser gerados através das linhas de comando abaixo.

```

> logisticModel2 <- nls(vtx12_ct~M/(1+exp(Po+k*dias)), start=list(Po=0, k=-0.21, M=17))
> logisticModel3 <- nls(ctc4_ct~M/(1+exp(Po+k*dias)),
  start=list(Po=5, k=-0.5, M=10),
  control = list(maxiter = 100,
  minFactor = 1/4096),trace = TRUE)
> logisticModel4 <- nls(ctc4_100~M/(1+exp(Po+k*dias)),
  start=list(Po=5, k=-0.5, M=30),
  control = list(maxiter = 50,minFactor = 1/4096),
  trace=TRUE)

```

A partir de cada modelagem foi gerado o gráfico de dispersão, juntamente com a curva de predição. A Figura 2 resume a curva de modelagem diante as quatro comparações.

```

> windows()
> par(mfrow=c(2,2))
> x1 <- seq(min(dias), max(dias), length=100)

```

```

> y1 <- predict(logisticModel1, list(dias=x1))
> plot(dias,vtx12_ct,las=1,pch=16, main="VTX12 -Ethephon")
> points(x1, y1, type='l', col='blue')

> x2 <- seq(min(dias), max(dias), length=100)
> y2 <- predict(logisticModel2, list(dias=x2))
> plot(dias,vtx12_eth,las=1,pch=16, main="VTX12 - Controle")
> points(x2, y2, type='l', col='blue')

> x3 <- seq(min(dias), max(dias), length=100)
> y3 <- predict(logisticModel3, list(dias=x3))
> plot(dias,ctc4_ct,las=1,pch=16, main="CTC4 - Controle")
> points(x3, y3, type='l', col='blue')

> x4 <- seq(min(dias), max(dias), length=100)
> y4 <- predict(logisticModel4, list(dias=x4))
> plot(dias,ctc4_eth,las=1,pch=16, main="CTC4 - Ethephon")
> points(x4, y4, type='l', col='blue')

```

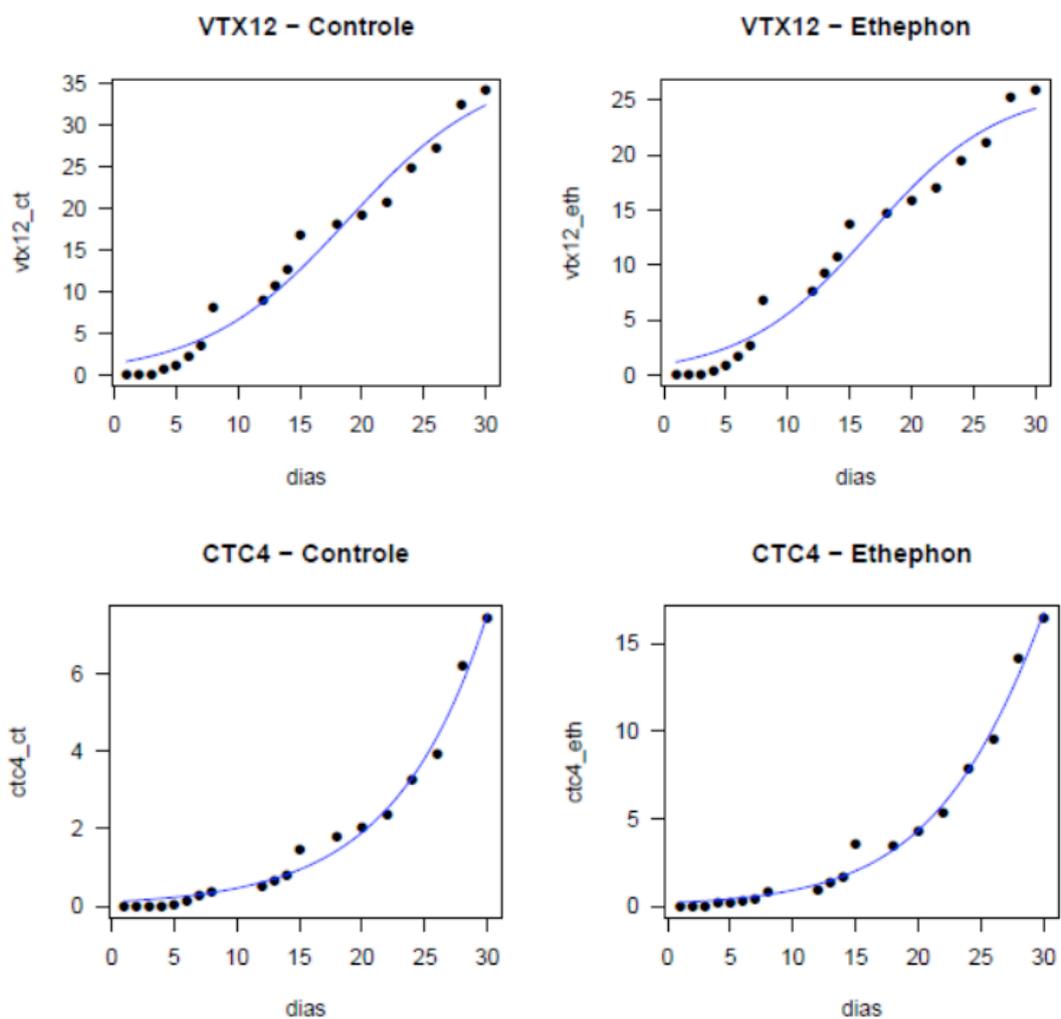


Figura 2. Modelagem realizada através de curvas sigmoids, representada por uma linha contínua azul, em relação ao gráfico de dispersão dos dados originais. Em todos os modelos houve significância estatística para o teste ($p\text{-value} \leq 0.05$).

4 | COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA

A análise estatística comparativa foi executada para dizer se a aplicação do Ethephon teve de fato significância estatística, tanto na comparação interna a

variedade (VTX12 e CTC4) quanto entre as condições (VTX12 versus CTC4) para ambas as condições de aplicação do Ethephon. Primeiramente vamos realizar o teste de Shapiro para verificar se há normalidade nos dados. Os códigos abaixo resumem a aplicação do teste.

```
> shapiro.test(ctc4_ct)
      Shapiro-Wilk normality test

data:  ctc4_ct
W = 0.76878, p-value = 0.0004163
> shapiro.test(ctc4_eth)
      Shapiro-Wilk normality test

data:  ctc4_eth
W = 0.7621, p-value = 0.0003383
> shapiro.test(vtx12_ct)
      Shapiro-Wilk normality test

data:  vtx12_ct
W = 0.90627, p-value = 0.06324
> shapiro.test(vtx12_eth)
      Shapiro-Wilk normality test

data:  vtx12_eth
W = 0.90578, p-value = 0.06196
```

Com a análise dos resultados notamos que os dados oriundos de cana-de-açúcar não apresentam normalidade ($p\text{-value} < 0.05$), diferente da variedade de cana energia, que apresenta normalidade ($p\text{-value} \geq 0.05$). Com este resultado, iremos aplicar a função `t.test()` para a comparação dados de cana energia tratada com Ethephon e controle. Contudo, para os dados de cana-de-açúcar iremos utilizar a função `wilcox.test()` para compará-las. A comparação feita entre os dados de cana-de-açúcar versus cana energia foi realizada através da função `wilcox.test()`.

```

> res <- wilcox.test(ctc4_ct,ctc4_eth,exact = FALSE)
> res
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: ctc4_ct and ctc4_eth
W = 143, p-value = 0.2786
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

> res <- t.test(vtx12_ct,vtx12_eth,exact = FALSE,paired = FALSE)
> res
Welch Two Sample t-test

data: vtx12_ct and vtx12_eth
t = 0.76436, df = 33.969, p-value = 0.4499
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-4.217926  9.303306
sample estimates:
mean of x mean of y
12.68158  10.13889

> res <- wilcox.test(ctc4_ct,vtx12_ct,exact = FALSE)
> res
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: ctc4_ct and vtx12_ct
W = 72, p-value = 0.001597
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

> res <- wilcox.test(ctc4_eth,vtx12_eth,exact = FALSE)
> res
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: ctc4_eth and vtx12_eth
W = 109.5, p-value = 0.03919
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

```

A análise dos resultados mostra que a comparação entre os dados de cana-de-açúcar controle (ctc4_ct) versus Ethephon (ctc4_eth) não apresentou significância estatística (p-value = 0.2786 \geq 0.05). Mesmo resultado apresentado pela variedade de cana energia, onde o tratamento com Ethephon (vtx12_eth) versus controle (vtx12_ct) não apresentou significância estatística (p-value = 0.499 \geq 0.05).

Os resultados comparativos entre as variedades, tanto no controle como no tratamento com Ethephon, deram significância estatística. Ao compararmos as duas variedades tanto no controle (ctc4_ct versus vtx12_ct) como no tratamento com Ethephon (ctc4_eth versus vtx12_eth) nota-se que há significância estatística, com p-value igual a 0.001597 e 0.03919, respectivamente. Com este resultado podemos concluir que há uma diferença significativa no crescimento entre as variedades, havendo superioridade na linhagem VTX12 de cana energia.

Por último, mostramos a dispersão dos dados através de um gráfico de boxplot (Figura 3). A partir desta figura podemos notar a diferença do crescimento entre as variedades de cana.

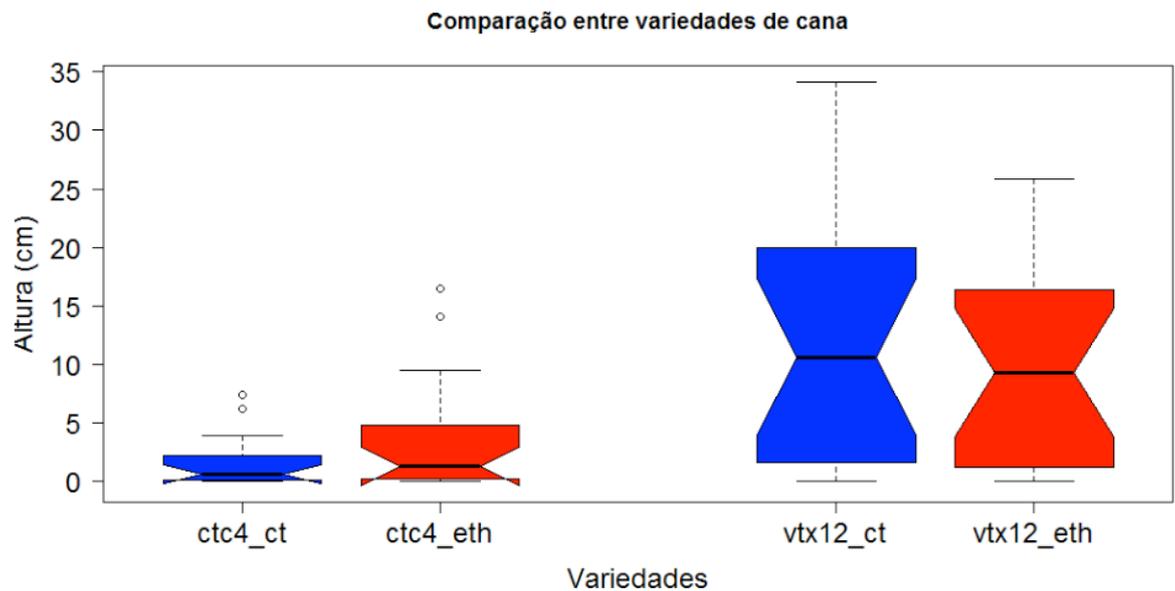


Figura 3. Boxplot comparativo entre as variedades e seus tratamentos. Significado dos tratamentos - ctc4_ct: cana-de-açúcar controle; ctc4_eth: cana-de-açúcar com Ethephon; vtx12_ct: cana energia controle; vtx12_eth: cana energia com Ethephon.

ACESSIBILIDADE AOS DADOS E SCRIPT

O *script* e a planilha contendo os dados brutos do experimento podem ser acessados pelo link: <https://github.com/lmigueel/Modelo-Ethephon>.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo número: 2018.10315-2.

REFERÊNCIAS

Carvalho-Netto O., Bressiani J. A., Soriano H L., Fiori C S., Santos J M., Barbosa G VS., Xavier M A., Landell M GA., Pereira G AG. The potencial of the energy cane as the mais biomass crop for the cellulosic industry. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 2014, 1:20.

Casagrande, A.A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

Magalhães, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331- 350.

Matsuoka, S. (2017). Free fiber level drives resilience and hybrid vigor in energy cane. Journal of Scientific Achievements 2: 1-35.

Pinheiro, J. & Bates, D. (2000) Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer Verlag, New York.

Ringler, C., Bhaduri, A. & Lawford, R. (2013). The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? Current Opinion in Environmental Sustainability 5:617-624.

Ritchie H. & Roser M. (2017). CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhousegas-emissions/>.

Ritz, C. & Streibig, J. (2008) Nonlinear Regression with R. Springer Verlag, New York.

Santos, L. V., et al. (2016). Second-generation ethanol: the need is becoming a reality. *Industrial Biotechnology* 12: 40-57.

Solomon, S., K. Singh, S. Bhatnagar, V.K. Madan. 1988. Effect of applied ethephon on foliar enzymes of late-planted sugarcane. *Indian Journal of Sugarcane Technology* 5(1): 61–65.

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