

Edgo Jackson Pinto Santiago

**Modelagem estocástica via cópula de variáveis meteorológicas
determinantes na produção e qualidade de manga ‘Palmer’ no pólo
frutícola do Rio São Francisco**

RECIFE – PE

JUNHO DE 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**Modelagem estocástica via cópula de variáveis meteorológicas
determinantes na produção e qualidade de manga 'Palmer' no pólo
frutícola do Rio São Francisco**

Tese julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 29/06/2022 pela comissão examinadora.

**Área de concentração: Biometria e
Estatística Aplicada**

Orientador: Prof. Dr. José Ramon Barros
Cantalice

Coorientador: Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho

RECIFE – PE

JUNHO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S235m Santiago, Edgo Jackson Pinto
Modelagem estocástica via cópula de variáveis meteorológicas determinantes na produção e qualidade de manga 'Palmer' no pólo frutícola do Rio São Francisco / Edgo Jackson Pinto Santiago. - 2022.
340 f. : il.

Orientador: Jose Ramon Barros Cantalice.
Coorientador: Moacyr Cunha Filho.
Inclui referências e apêndice(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Recife, 2022.

1. semiárido. 2. mudanças climáticas. 3. seleção de cópula. 4. mapa de probabilidade. 5. manguito. I. Cantalice, Jose Ramon Barros, orient. II. Filho, Moacyr Cunha, coorient. III. Título

CDD 519.5

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**Modelagem estocástica via cópula de variáveis meteorológicas
determinantes na produção e qualidade de manga 'Palmer' no pólo
frutícola do Rio São Francisco**

Edgo Jackson Pinto Santiago

Tese julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 29/06/2022 pela comissão examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice
Orientador

Banca examinadora:

Dr^a. Maria Aparecida do Carmo Mouco
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
(EMBRAPA-Semiárido)

Prof^a. Dr^a. Gertrudes Macario de Oliveira
Universidade do Estado da Bahia
(UNEB)

**Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos
Leitão**
Universidade Federal do Vale do São Francisco
(UNIVASF)

Prof. Dr. Frank Sinatra Gomes da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE)

*A minha vó, mãe, tias e tios,
minha esposa, irmãos, primos
e sobrinhos, que sempre me
apoiaram, incentivaram, e
nunca mediram esforços para
que estivessem ao meu lado.*

Com amor, dedico!

Agradecimentos

À Deus, fonte inesgotável de sabedoria pelas dádivas concedidas: sabedoria, conhecimento e felicidade. Obrigado Senhor Jesus, Rei dos Reis e Senhor dos Senhores.

A Sagrada Escritura nos ensina que planejamos nossos caminhos, mas o Senhor determina nossos passos. Obrigado Deus por ter determinado os meus.

Agradeço a minha esposa e eterna namorada Ana Karla da Silva Freire pelo amor, carinho e incentivo e por estar ao meu lado sempre, me dando forças para continuar.

Agradeço a minha vó Ester Afonso Pinto, mulher de fibra, guerreira, determinada, a quem devo meus valores e princípios. A minha mãe, Maria dos Santos Pinto Santiago pelo amor, carinho e apoio, cuidado, paciência, incentivo e dedicação. As minhas tias que também são minhas mães, Cleonice Pinto Santiago, Josileide dos Santos Pinto Santiago e meu tio Esterfenson Pinto Santiago por todo amor, carinho e apoio, cuidado, paciência, incentivo e dedicação durante toda minha trajetória.

Na árdua luta do me educar estas pessoas tiram forças de onde não tinham para que eu pudesse chegar onde jamais puderam. Obrigado família.

Agradeço aos meus irmãos Diorgenis Souza Santiago e Stenio Douglas Souza Santiago e aos meus primos Brendo Gabriel Santiago Soares e Brunna Milenna Santiago Soares.

Agradeço imensamente ao meu orientador Professor Dr José Ramon Barros Cantalice a quem devo eterna gratidão. Obrigado por todos os ensinamentos, orientações, dedicação, amizade, incentivo e paciência nas orientações.

Agradeço aos professores Dr Frank Sinatra Gomes da Silva, Dr Antonio Samuel Alves da Silva, Dr Moacyr Cunha Filho, Dr Guilherme Rocha Moreira pelas orientações e ensinamentos. Estas pessoas que transmitem o que sabem e maravilham-nos com seus saberes. São exemplos de coerência, idoneidade e capricho em tudo que fazem. Agradeço também ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Marcos Antônio Gomes dos Santos por todo apoio e suporte.

Agradeço a pesquisadora da Embrapa Semiárido Dr^a Maria Aparecida do Carmo Mouco por toda ajuda, pelas orientações e ensinamentos e por partilhar sua vasta experiência nessa minha jornada do aprender.

Agradeço a todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, bem como a todos os amigos que de uma forma ou de outra, contribuíram para a materialização, desenvolvimento e consolidação da tese aqui relatada. A todos vocês meu muito obrigado.

Agradeço as instituições Universidades do Estado da Bahia (UNEB) em nome da professora Gertrudes Macário de Oliveira; a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em nome do Professor Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão; e a EMBRAPA Semiárido em nome da Dr^a Magna Soelma Beserra de Moura, pela disponibilidade dos dados climáticos empregados na pesquisa que norteou a elaboração da presente tese.

Dirijo, igualmente, meu reconhecimento e gratidão à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, pelo honroso título me outorgado bem como por todo o apoio e dedicação dos integrantes da sua secretaria e coordenação.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES (Código de Financiamento 001) pela concessão da bolsa de estudos da pós-graduação, fundamental para conclusão dessa tese.

Deus, obrigado por sempre iluminar os meus passos e clarear os meus caminhos, obrigado pela vida, obrigado pelo conhecimento adquirido e por todo aquele que ainda irei aprender.

Por tudo, muito obrigado meu SENHOR DEUS.

*Bem-aventurado o homem que
põe no Senhor a sua
confiança.*

(Bíblia Sagrada, Salmo 40:4)

Resumo

A variabilidade climática semiárida aliada às mudanças climáticas em curso afeta os sistemas agrícolas no mundo com impactos nas culturas, no rendimento de lavouras e ameaçam a segurança alimentar global. A região do vale do submédio do Rio São Francisco vem sofrendo com condições climáticas adversas que têm trazido prejuízos expressivos advindos da queda na produtividade dos pomares e da desqualificação de frutos para comercialização, seja pelo aumento nos índices pluviométricos ou pelo efeito nocivo que altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar tem causado durante a floração/início da frutificação em mangueiras cv. Palmer. Portanto, tão importante quanto quantificar é prever eventos extremos relacionados a alta temperatura e baixa umidade relativa do ar para compreensão do mecanismo de resposta da vegetação natural e dos cultivos agrícolas às variações climáticas. Neste contexto, a inferência e a análise estatística são ferramentas comuns para estimar o risco de eventos de interesse e, a utilização de cópula tem sido uma escolha natural pois é flexível para construir distribuição multivariada e capturar a estrutura de interdependência entre as múltiplas variáveis envolvidas. Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar cópulas para análises conjuntas de temperatura e umidade relativa do ar e espacialização de probabilidades na região do vale do submédio do Rio São Francisco. O estudo foi realizado com dados diários de temperatura e umidade relativa do ar obtidos entre os anos de 2003 e 2018 em 17 estações meteorológicas da região. Para cada mês de dados ajustou-se 12 modelos de probabilidades e 10 modelos de cópulas que apresentaram os melhores desempenhos para estimativas uni e bivariadas. Para a maioria dos meses, as distribuições log-logística exponenciada, generalizada de valores extremos e as cópulas de Plackett e de Frank foram as que mais se adequaram para modelar a temperatura e a umidade relativa do ar. Durante a primavera, nos meses de outubro e novembro, a maior parte da região experimenta temperaturas máximas e médias, respectivamente, acima dos limiares de 31,6 °C e 26,1 °C com 90% de probabilidade. Outubro e novembro também foram os meses com maior risco de temperatura máxima superior a 33 °C, associado à ocorrência simultânea de umidade relativa mínima do ar inferior a 30%. Novembro é o mês com maior probabilidade da ocorrência de temperatura e umidade relativa do ar inadequados ao florescimento de mangueiras

'Palmer' e, portanto, mais propício à ocorrência de frutos estenoespermocárpicos na colheita esperada para abril ou maio, considerando o ciclo da variedade.

Palavras-chave: semiárido, mudanças climáticas, seleção de cópula, mapa de probabilidade, manguito, *Mangifera indica*.

Abstract

Semi-arid climate variability combined with ongoing climate change affects agricultural systems around the world with impacts on crops, crop yields and threatening global food security. The region of the valley of the sub-middle of the São Francisco River has been suffering from adverse weather conditions that have brought significant losses arising from the fall in the productivity of the orchards and the disqualification of fruits for commercialization, either by the increase in rainfall or by the harmful effect that high temperatures and low relative humidity has caused during flowering/beginning of fruiting in mango trees cv. Palmer. Therefore, as important as quantifying is predicting extreme events related to high temperature and low relative humidity in order to understand the response mechanism of natural vegetation and agricultural crops to climatic variations. In this context, inference and statistical analysis are common tools to estimate the risk of events of interest, and the use of copula has been a natural choice as it is flexible to build multivariate distribution and capture the structure of interdependence between the multiple variables involved. Thus, the objective of this work was to select copulas for joint analysis of temperature and relative humidity and spatialization of probabilities in the region of the submiddle valley of the São Francisco River. The study was carried out with daily air temperature and relative humidity data obtained between 2003 and 2018 at 17 meteorological stations in the region. For each month of data, 12 probability models and 10 copula models were fitted, which presented the best performances for univariate and bivariate estimates. For most months, the exponential log-logistics distributions, generalized extreme values and the Plackett and Frank copulas were the ones that best suited to model the temperature and relative humidity of the air. During the spring, in the months of October and November, most of the region experiences maximum and average

temperatures, respectively, above the thresholds of 31.6 °C and 26.1 °C with 90% probability. October and November were also the months with the highest risk of maximum temperature above 33 °C, associated with the simultaneous occurrence of minimum relative humidity below 30%. November is the month with the highest probability of occurrence of inadequate temperature and relative humidity for the flowering of 'Palmer' mango trees and, therefore, more favorable to the occurrence of stenopermocarpic fruits in the harvest expected for April or May, considering the cycle of the variety.

Keywords: semiarid, climate change, mating selection, probability map, cuff, *Mangifera indica*.

Divulgação não autorizada por se tratar de material temporariamente restrito.

Um dos artigos da tese encontra-se em fase avançada de revisão por pares na *Computers and Electronics in Agriculture*, estando a publicação condicionada a um tempo adequado de embargo para que o periódico agregue valor aos clientes assinantes antes que o manuscrito seja disponibilizado gratuitamente ao público em geral.