



# Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente

## Vol. II

Marcelo Luchetti  
Patricia Almeida Sacramento  
Yara Campos Miranda  
(Organizadores)



# Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente

## Vol. II

Marcelo Luchetti  
Patricia Almeida Sacramento  
Yara Campos Miranda  
(Organizadores)

 **Bookerfield**

**Editora Chefe**  
Marcia A. A. Marques  
**Coordenadora Editorial**  
Isabela Arantes Ferreira

**Bibliotecária**  
Cibele Maria Dias

**Diagramação**  
Jônatas C. Jacob

**Capa**  
Bookerfield  
**Capista**  
Matheus do P. Lacerra

**Revisão**  
Os autores

O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



2021 by Bookerfield Editora

Copyright © Bookerfield Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Bookerfield Editora

Os autores cedem à Bookerfield Editora os direitos para esta edição

Esta obra é de natureza digital (e-book). Versões impressas são permitidas, não tendo a Bookerfield Editora qualquer responsabilidade pela confecção e distribuição de exemplares físicos deste conteúdo.

Todos os manuscritos da obra passaram por rigorosa avaliação cega pelos pares, baseadas em critérios científicos e imparciais, recebendo a aprovação após atender os critérios técnicos estabelecidos pelo Conselho Editorial.

Todo o conteúdo do livro e de artigos individuais é de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores, não sendo a Bookerfield Editora responsável por quaisquer eventuais irregularidades.

Situações como plágio, má conduta ética/científica ou dados e resultados fraudulentos são de responsabilidade do autor, comprometendo-se a Bookerfield Editora em investigá-las rigorosamente e tomar as ações cabíveis.

O download, compartilhamento e referência da obra são permitidos mediante atribuição de crédito aos autores e à Editora. A comercialização desta obra é expressamente proibida.

## Conselho Editorial

Adailton Pereira de Melo	Joelma Leão Buchir
Afrânio Silva Madeiro	José Aderval Aragão
Alberto Carlos de Souza	José Edson Barros Correia
Aline De Souza Lima Barbaroto	José Robertto Zaffalon Júnior
Alirya Magda Santos do Vale Gomes	Juliane Campos Inácio
Ana Luiza Trovo Marques de Souza	Jussara Gonçalves Fonseca
Andrea Borges Gaia	Kilvia Paula Soares Macedo
Andrea Sartori Jabur	Luciane Cristina Arantes Arantes
Andréia Monique Lermen	Luiz Eduardo da Silva Gomes
Breno Henrique Ferreira Cypriano	Marcelo de Oliveira Pinto
Bruno Cezar Silva	Marcelo Henrique da Silva
Camila de Vasconcelos Tabares	Márcia Donizete Leite-Oliveira
Camila Gemin R. Locatelli	Marco Aurelio de Jesus Mendes
Camila Nathalia Padula de Godoy	Marcos Pereira dos Santos
Cláudia Hitomi Watanabe Rezende	Marden Manuel Rodrigues Marques
Dalvani Fernandes	Miguel Rodrigues Netto
Daniela Kunkel	Monyck Jeane dos Santos Lopes
Dayane Cristina Guarnieri	Morgana do Nascimento Xavier
Edfram Rodrigues Pereira	Nara Michelle Moura Soares
Elaine Patricia Arantes	Nathália Sayuri Yamamoto
Elisângela Rodrigues Carrijo	Oscar Yecid Bello Bello
Elson Barbosa da Silva Junior	Patricia Köster e Silva
Érika Alves Tavares Marques	Rafael Gonçalves Mafra
Evandro Preuss	Rafael Mesquita Stoque
Fabio José Antonio da Silva	Rebecca Bianca de Melo Magalhães
Fabiola Aliaga de Lima	Renato Luís Veiga Oliveira Júnior
Fernanda Imada de Lima	Renato Obikawa Kyosen
Fernando Cesar Mendes Barbosa	Rodolfo Lucas Bortoluzzi
Fernando Oliveira de Andrade	Silvio Santiago-Vieira
Greicielle Pereira Arruda	Solange Kileber
Guilherme Camara Meireles	Suzana Silva Lira
Guilherme Emanuel de Queiros Souza	Taíza Fernanda Ramalhais
Heiriane Martins Sousa	Thiago Averaldo Bimestre
Hermam Vargas Silva	Thiago Luciano Rodrigues da Silva
Horácio Monteschio	Vagner Marques de Moura
Isabel das Mercedes Costa	Valdecir Alves dos Santos Júnior
Isidro Ihadua	Vanessa Paiva Costa Vale
Israel Henrique Ribeiro Rios	Vânia Maria Carvalho de Sousa
Ivonete Alves Sampaio	Veronica Gabriela Ribeiro da Silva
Jaime Andres Castaneda Barbosa	Vinícius Dantas Silveira
João César Abreu de Oliveira Filho	Vivian Victoria Vivanco Valenzuela

## Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente - Vol. II

**Editora Chefe** Marcia A. A. Marques  
**Coordenadora Editorial** Isabela Arantes Ferreira  
**Bibliotecária** Cibele Maria Dias  
**Diagramação** Jônatas C. Jacob  
**Revisão** Os autores  
**Organizadores** Marcelo Rosolem Luchetti  
Patricia Almeida Sacramento  
Yara Campos Miranda

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Pesquisas multidisciplinares aplicadas ao meio ambiente : volume II [livro eletrônico] / [organização Marcelo Rosolem Luchetti, Patricia Almeida Sacramento, Yara Campos Miranda ; coordenação Isabela Arantes Ferreira]. -- São Paulo : Bookerfield, 2021.

PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-89929-02-4

1. Climatologia 2. Gestão ambiental 3. Impacto ambiental - Brasil 4. Meio ambiente - Pesquisa 5. Meteorologia I. Luchetti, Marcelo Rosolem. II. Sacramento, Patricia Almeida. III. Miranda, Yara Campos. IV. Ferreira, Isabela Arantes.

21-68779

CDD-333.72

### Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa : Meio ambiente : Economia 333.72

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

DOI 10.53268/BKF21060900

Bookerfield Editora  
São Paulo – Brasil  
Telefone: +55 (11) 99841-4444  
www.bookerfield.com  
contato@bookerfield.com



## Declaração dos Autores

Os autores da presente obra declaram não haver qualquer interesse comercial ou irregularidade que comprometa a integridade dos artigos científicos nesta obra publicados; declaram que participaram da elaboração, revisão e/ou organização de seus respectivos artigos, os quais atestam estar completamente livres de dados e resultados fraudulentos, bem como de plágio acadêmico; declaram que a publicação de seu artigo científico nesta obra não fere qualquer outro contrato por eles firmado; declaram ter atendido às exigências de outras partes, como instituições financiadoras, para a publicação nesta obra.

# Apresentação

Os recursos naturais são essenciais para a manutenção da vida terrestre. Neste sentido, torna-se fundamental que as atividades humanas sejam reguladas, de modo a mitigar os impactos ambientais significativos e compatibilizar as esferas econômicas, ambientais e sociais. Discussões multidisciplinares que envolvam conhecimentos relacionados aos aspectos bióticos e abióticos do meio são úteis, uma vez que promovem o maior entendimento acerca das variáveis ambientais e a possibilidade da proposição de soluções alternativas que busquem a sustentabilidade.

Com isso, o segundo volume do livro “Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente” contempla 10 capítulos, nos quais são divididos em duas temáticas principais: Meteorologia e Climatologia, Gestão Ambiental e Avaliação de Impactos Ambientais.

Considerando a importância da dinâmica do clima nas atividades humanas, o tema Meteorologia e Climatologia aborda estudos relacionados ao entendimento das variáveis meteorológicas e sua relação com as atividades humanas, englobando os capítulos: “Análise da Distribuição de Dias Chuvosos na Região Sul do Brasil em Termos de Probabilidade”, “Índice de Anomalia de Chuva Para as Diferentes Regiões Intermediárias do Estado do Paraná na Segunda Década Do Século XXI”, “Quantificação da Precipitação com Variáveis Polarimétricas Para a Região Coberta Pelo Radar Meteorológico Banda S de Maceió”, “Sazonalidade Micrometeorológica e a Chegada de um Evento de Friagem no Sudoeste da Amazônia Brasileira” e “Uma Visão Sobre Incêndios Florestais em Regiões Climatológicas Distintas: Uma Análise da Área Queimada na Amazônia Legal e na Província De Alberta”.

Em um segundo momento, o tema gestão ambiental e avaliação de impactos ambientais traz contribuições importantes no que tange ao entendimento da relação existente entre as atividades antrópicas e o uso indiscriminado dos recursos naturais, contendo os capítulos: “Ação do Extrato de *Stryphnodendron Adstringens* (Mart.) Coville Sobre a Biologia de *Plutella Xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae)”, “Intenção de Compra de Bicicletas Com Quadro de Materiais Plásticos Reciclados: Um Estudo Empírico com a Teoria Do Comportamento Planejado”, “Avaliação dos Impactos Ambientais em Trechos de Rio Através de Um Protocolo De Avaliação Rápida: Parte I”, “Avaliação Dos Impactos Ambientais em Trechos de Rio Através de um Protocolo de Avaliação Rápida: Parte II” e “Caracterização e Sorção de Fósforo Nos Sedimentos do Rio Corrente dos Matões, Piauí”.

Esperamos que todas estas valiosas contribuições possam impulsionar novos estudos relacionados a boas práticas ambientais, instigando os pesquisadores no desenvolvimento de pesquisas multidisciplinares capazes de gerar inovações tecnológicas para que a humanidade seja cada vez mais sustentável e autossuficiente. Uma boa leitura!

**Marcelo Rosolem Luchetti**  
**Patricia Almeida Sacramento**  
**Yara Campos Miranda**

# SUMÁRIO

## SEÇÃO 1

### METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

**CAPÍTULO 1..... 12**  
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE DIAS CHUVOSOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL EM TERMOS DE PROBABILIDADE

**RICARDO PUZIOL DE OLIVEIRA**

**ISABELA ZARA CREMONEZI**

**DANIELE PERALTA**

**MARCOS VINÍCIUS DE OLIVEIRA PERES**

**JULIANO KATAYAMA GROFF**

DOI 10.53268/BKF21060901

**CAPÍTULO 2..... 27**  
ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC) PARA AS DIFERENTES REGIÕES INTERMEDIÁRIAS DO ESTADO DO PARANÁ NA SEGUNDA DÉCADA DO SÉCULO XXI

**MANOEL SOTTI JUNIOR**

**RICARDO PUZIOL DE OLIVEIRA**

**JULIANO KATAYAMA GROFF**

**MARCOS VINÍCIUS DE OLIVEIRA PERES**

**YARA CAMPOS MIRANDA**

DOI 10.53268/BKF21060902

**CAPÍTULO 3..... 43**  
QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO COM VARIÁVEIS POLARIMÉTRICAS PARA A REGIÃO COBERTA PELO RADAR METEOROLÓGICO BANDA S DE MACEIÓ

**ISIDRO METÓDIO TULENI JOHANES IHADUA**

**CARLOS FREDERICO ANGELIS**

DOI 10.53268/BKF21060903

**CAPÍTULO 4..... 61**  
SAZONALIDADE MICROMETEOROLÓGICA E A CHEGADA DE UM EVENTO DE FRIAGEM NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

**ARISA KOGA**

**GABRIELA NOVAIS GUESSO**

**RODRIGO TARTARI**

DOI 10.53268/BKF21060904

**CAPÍTULO 5..... 75**  
UMA VISÃO SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM REGIÕES CLIMATOLÓGICAS DISTINTAS: UMA ANÁLISE DA ÁREA QUEIMADA NA AMAZÔNIA LEGAL E NA PROVÍNCIA DE ALBERTA

**YARA CAMPOS MIRANDA**  
**KAUANA MARA DA SILVA**  
**AMANDA CORREA NUNES**  
**ANDREY CASSIANO MARTINS**  
**DANRLEY DE ABREU DOS SANTOS**  
**FRANCISCO ANTÔNIO DUPAS**  
**RODRIGO CAMILO**  
**RICARDO PUZIOL DE OLIVEIRA**  
DOI 10.53268/BKF21060905

## **SEÇÃO 2**

### **GESTÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### **CAPÍTULO 6..... 91**

**A AÇÃO DOS EXTRATOS METANÓLICOS DE STRYPHNO DENDRON ADSTRINGENS (MART) COVILLE SOBRE ALIMENTAÇÃO E REPRODUÇÃO DE PLUTELLA XYLOSTELLA L. (LEPIDOPTERA:PLUTELLIDAE)**

**JUSSARA GONÇALVES FONSECA**  
**FABRICIO FAGUNDES PEREIRA**  
**MUNIR MAUAD**  
**SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON**  
**ROSILDA MARA MUSSURY**  
DOI 10.53268/BKF21060906

#### **CAPÍTULO 7..... 103**

**INTENÇÃO DE COMPRA DE BICICLETAS COM QUADRO DE MATERIAIS PLÁSTICOS RECICLADOS: UM ESTUDO EMPÍRICO COM A TEORIA DO COMPORTAMENTO PLANEJADO**

**MARCELO ROSOLEM LUCHETTI**  
**LEONARDO VILS**  
DOI 10.53268/BKF21060907

#### **CAPÍTULO 8..... 116**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM TRECHOS DE RIO ATRAVÉS DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA: PARTE I**

**LAYS AYARA DE SOUZA SOARES**  
**FERNANDA BENÍCIO COELHO DE ARAÚJO**  
**ISRAEL LOBATO ROCHA**  
**CLEIDE DIAS DE SOUSA**  
**MÁRCIO CLETO SOARES DE MOURA**  
**JOSELIA PAES RIBEIRO DE SOUSA**  
DOI 10.53268/BKF21060908

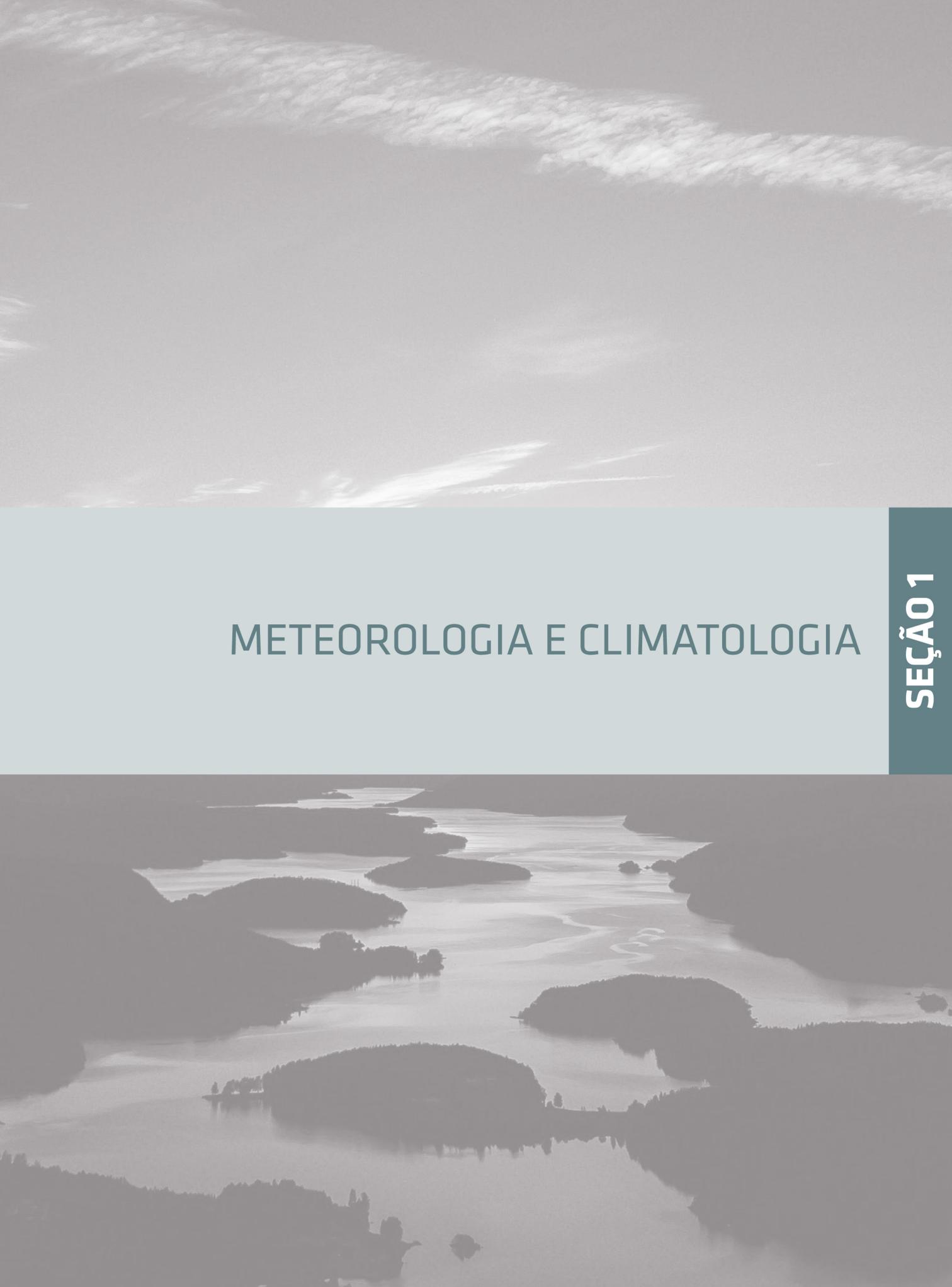
#### **CAPÍTULO 9..... 128**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM TRECHOS DE RIO ATRAVÉS DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA: PARTE II**

LAYS AYARA DE SOUZA SOARES  
FERNANDA BENÍCIO COELHO DE ARAÚJO  
ISRAEL LOBATO ROCHA  
CLEIDE DIAS DE SOUSA  
MÁRCIO CLETO SOARES DE MOURA  
JOSELIA PAES RIBEIRO DE SOUSA  
DOI 10.53268/BKF21060909

**CAPÍTULO 10** ..... **144**  
CARACTERIZAÇÃO E SORÇÃO DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DO RIO CORRENTE DOS  
MATÕES, PIAUÍ

FERNANDA BENÍCIO COELHO DE ARAÚJO  
MARCIO CLETO SOARES DE MOURA  
GLÁUCIA VIANA DOS SANTOS  
DOI 10.53268/BKF21060910



# METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

SEÇÃO 1

# CAPÍTULO 1

## ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE DIAS CHUVOSOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL EM TERMOS DE PROBABILIDADE

**Ricardo Puziol de Oliveira**

<http://lattes.cnpq.br/8509404558611596>

Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama, Paraná

**Isabela Zara Cremonezi**

<http://lattes.cnpq.br/6218965521379990>

Universidade Estadual de Maringá,  
Maringá, Paraná

**Daniele Peralta**

<http://lattes.cnpq.br/9953299664928317>

Universidade Estadual de Maringá,  
Maringá, Paraná

**Marcos Vinícius de Oliveira Peres**

<http://lattes.cnpq.br/8461081481802737>

Universidade Estadual de Maringá, Cidade  
Gáúcha, Paraná

**Juliano Katayama Groff**

<http://lattes.cnpq.br/7848247461952337>

Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama, Paraná

**RESUMO** – A análise da distribuição dos períodos chuvosos baseada na precipitação diária é cada vez mais importante para a população de uma dada região e tais análises podem ser utilizadas para a finalidade de tomada de decisões e/ou previsões. Neste sentido é importante avaliar o desempenho de várias distribuições de probabilidade para melhor descrever o comportamento do com-

primento de dias chuvosos. Na literatura, os modelos de probabilidade tradicionais como as distribuições de probabilidade geométrica (G), Poisson truncada em zero (ZTP), logarítmica (LG) e binomial negativa truncada em zero (ZTNB) são os mais comuns nesse tipo de análise. Este artigo identificou duas distribuições discretas univariadas obtidas pelo método de Nakagawa e Osaki (1975), as distribuições de probabilidade truncadas em zero Lindley (ZTDL) e quasiLindley (ZTQLD), como boas possíveis alternativas para as distribuições ZTP, ZTNB e G. Os resultados obtidos mostraram que as distribuições ZTDL e ZTDQL são muito promissoras para a modelagem dos comprimentos de períodos chuvosos com ajustes equivalentes/superior aos modelos ZTP, ZTNB e G.

**PALAVRAS-CHAVE:** dias chuvosos, distribuições de probabilidade truncadas em zero, estimação via máxima verossimilhança.

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo da precipitação pluviométrica desempenha um papel de grande destaque na análise climatológica e hidrológica das diversas regiões do Brasil. De acordo com Sem (2009), tal importância está diretamente ligada ao fato de que períodos longos de seca ou de chuva, a intensidade e a

duração das chuvas, os totais de chuva diários e mensais, afetam de forma significativa a produção agrícola, os projetos de gerenciamento de água e as atividades industriais entre várias outras áreas. Além disso, a análise do comprimento da sequência de uma variável climatológica em uma determinada região não se restringe apenas a precipitação e a descrição de seu comportamento, mas também leva a várias implicações práticas como a quantificação de riscos climáticos na agricultura. Nessa direção, é importante destacar que longos períodos de chuva em uma região também aumentam o risco de inundações, dentre outras várias implicações (MCCALLA et al., 1978).

Segundo Shaw et al. (2010), um dia é considerado chuvoso se a precipitação acumulada em um período de 24 horas for simplesmente mensurável ou superior a algum limiar fixado a priori, por exemplo 0.1, 1.0, 5.0 ou 10.0 milímetros. O valor do limiar usado para definir um dia como chuvoso varia muito na literatura. Como casos especiais, na detecção dos impactos dos comprimentos das sequências de dias chuvosos na Grécia, Anagnostopoulou et al. (2003) consideram limiares de 0.1, 1.0 e 10.0 milímetros/dia; Barron et al. (2003) adotam um limiar de 0.85 milímetros/dia; Zin and Jemain (2010) consideram o valor 0.1 milímetros/dias como limiar. Os limiares de 0.1, 1.0 e 5.0 milímetros/dia foram considerados por Lana et al. (2006).

A análise do comprimento das sequências dos dias chuvosos e secos leva em consideração duas condições (MATHUGAMA; PEIRIS, 2011). A primeira considera que o estado - chuvoso ou seco - em um determinado dia, depende do que ocorreu em um ou mais dias anteriores. A segunda, considerada neste trabalho, leva em conta que os comprimentos das sequências dos dias chuvosos em uma dada estação meteorológica são independentes e identicamente distribuídos. Sob estas suposições, a análise se inicia pela escolha e ajuste de uma ou mais distribuições discretas de probabilidade com suporte no intervalo  $[1;k]$ . O valor de  $k$  depende do período considerado, por exemplo, se o objetivo é analisar os comprimentos de sequências mensais,  $k$  corresponde ao número máximo de dias do mês considerado (em fevereiro,  $k = 29$ ).

Naturalmente, antes da escolha e ajuste de uma distribuição de probabilidade, a hipótese de que os comprimentos das sequências são independentes e identicamente distribuídos deve ser testada. Esta suposição é necessária, por exemplo, para estimar os parâmetros das distribuições candidatas pelo método da máxima verossimilhança. Neste trabalho as suposições supracitadas são avaliadas a partir dos valores das estatísticas dos testes de Bartels (Bartels, 1982), Wald-Wolfowitz (Wald and Wolfowitz, 1943) e Mann-Kendall (Mann, 1945).

Na literatura, várias funções de probabilidade têm sido introduzidas e utilizadas na descrição do comportamento dos comprimentos das sequências dos dias chuvosos. Deni et al. (2008) ajustam sete distribuições aos comprimentos das sequências de dias chuvosos e secos observados entre 1971 e 2005 em várias estações meteorológicas da península da Malásia. Deni and Jemain (2009a) e Deni et al. (2009) analisaram o comportamento dos comprimentos das sequências utilizando, respectivamente, 12 e 13 distribuições de probabilidade, dentre elas uma mistura de distribuições logarítmicas, uma mistura das distribuições logarítmica e Poisson e uma mistura das distribuições logarítmica e geométrica. Uma mistura de duas

distribuições também foi considerada por Dobi-Wantuch et al. (2000), Deni and Jemain (2008); Deni et al. (2009); Deni and Jemain (2012, 2009b), entre outros.

Com objetivo de avaliar a adequação de duas novas distribuições de probabilidade, Lindley e quasi- Lindley truncadas em zero, como alternativas às distribuições Poisson truncada em zero e binomial negativa truncada em zero sobre comprimento das sequências de dias chuvosos na região Sul do Brasil. O presente trabalho está organizado como segue: na seção 2, apresentamos as distribuições de probabilidade consideradas na análise, os dados e uma descrição da área de estudo. Os resultados obtidos dos ajustes das distribuições consideradas na análise são apresentados e discutidos na seção 3. A seção 4 finaliza este trabalho com algumas conclusões.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

A região Sul do Brasil está localizada abaixo do Trópico de Capricórnio e é caracterizada por baixas temperaturas com frequência alta de geadas na quase totalidade das áreas no período de inverno. O clima predominante nesta região é o clima temperado com exceção do clima tropical no norte do estado do Paraná, com temperatura média anual variando entre 16°C e 22°C no inverno é índice pluviométrico anual em torno de 1.200mm, sendo maior na região litorânea que fica em torno de 2.000mm (NIMER, 1977).

### 2.2. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE TRUNCADAS EM ZERO

#### 2.2.1. Distribuições Binominal Negativa Truncadas em Zero

A distribuição Binomial negativa é uma das distribuições de probabilidade mais frequentemente utilizadas para modelar dados de contagem quando a média é diferente da variância (equidispersão). Ela pode ser obtida de diferentes formas, por exemplo, como uma mistura de distribuições Poisson- Gama (HILBE, 2011). Além disso, de acordo com Jain e Consul (1971), a distribuição Binomial negativa é talvez a primeira distribuição de probabilidade discreta cuja variância é maior do que sua média. No entanto, a distribuição binomial negativa não pode ser ajustada diretamente aos dados de comprimentos de sequências de dias com chuva uma vez que que esses comprimentos, por definição, não podem assumir o valor zero. Dessa forma, é necessário utilizar a distribuição binomial negativa truncada em zero (ZTNB) (JOHNSON et al., 2005). Uma discussão detalhada do modelo ZTNB pode ser encontrada em Grogger and Carson (1991). A distribuição ZTNB tem função de probabilidade dada por:

$$P(X=x|X>0,\theta,\alpha) = \frac{\Gamma\left(x+\frac{1}{\alpha}\right)}{\Gamma(x+1)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \left(\frac{\theta\alpha}{1+\theta\alpha}\right)^x \left(\frac{1}{1+\theta\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left[1 - \left(\frac{1}{1+\theta\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right]^{-1} \quad (1)$$

Para  $x = 1, 2, \dots$  e 0 caso contrário, a média e a variância são escritas, respectivamente,

$$\text{te, como: } E(X) = \theta \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + \theta\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right]^{-1} \text{ e } \text{Var}(X) = E(X) [1 + \theta + \theta\alpha - E(X)] \text{ que são}$$

um pouco maiores em relação a distribuição binomial negativa. Para  $\theta > \frac{\left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^{-1}}{\alpha}$  a variável aleatória  $X$  com distribuição ZTNB tem  $\text{Var}(X) > E(X)$  e  $\text{Var}(X) < E(X)$

caso contrário. Isso implica que a distribuição ZTMB pode ser utilizada para modelar dados de contagem com subdispersão e superdispersão.

### 2.2.2. Distribuição Poisson Truncada em Zero

A distribuição de Poisson (P) é uma distribuição de probabilidade tradicionalmente utilizada para modelar dados de contagem quando temos equidispersão, ou seja,  $E(X) = \text{Var}(x)$ . Assim como a distribuição Binomial Negativa, a distribuição de Poisson não pode ajustar diretamente aos dados de comprimento de sequências de dias chuvosos, sendo necessária a utilização de sua versão truncada em zero (ZTP). Um estudo detalhado da mesma pode ser visto em (ZUUR et al., 2009). A função de probabilidade da distribuição ZTP é dada por:

$$P(X = x | X > 0, \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x! [1 - e^{-\lambda}]}$$

Em que  $\lambda > 0$  e  $x \in Z_+^*$ . A média é descrita por  $E(X) = \frac{\lambda}{[1 - e^{-\lambda}]}$  e a variância por  $\text{Var}(X) = \frac{\lambda}{[1 - e^{-\lambda}]} - \frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{[1 - e^{-\lambda}]^2}$  que não excede a média. Isso implica que a distribuição ZTP só pode ser utilizada para modelar dados de contagem com subdispersão.

### 2.2.3. Distribuição Lindley Truncada em Zero

Segundo Bakouch (2014), os modelos de probabilidade tradicionais como as distribuições de Poisson e Geométrica tem aplicações limitadas quando se trata de tempo de falha ou até mesmo contagem implicando no desenvolvimento de modelos discretos obtidos a partir de modelos contínuos. Dentre esses modelos, Gómez-Deniz e Calderín-Ojeda (2011) e Bankouch et al., (2014) usando o método de discretização proposto por Nakagawa e Osaki (1975), apresentaram uma versão discreta da distribuição Lindley (LD) com função de probabilidade dada por:

$$P(X = x | \beta) = \frac{p^x}{1 + \beta} [\beta(1 - 2p) + (1 - p)(1 + \beta x)]$$

em que  $x = 0, 1, 2, \dots$  e  $p = e^{-\beta}$  e  $\beta > 0$ . No entanto, pelo mesmo motivo dos modelos anteriores, será usada a distribuição Lindley truncada em zero (ZTDL) com função de probabilidade dada por:

$$P(X = x | X > 0, \beta) = \frac{p^x}{p(1+2\beta)} [\beta(1-2p) + (1-p)(1+\beta x)]$$

em que  $x = 1, 2, 3, \dots$  e  $p = e^{-\beta}$  e  $\beta > 0$ . A média para esta distribuição é dada por  $E(X) = \frac{2\beta - \beta p + 1 - p}{(1+2\beta)(1-p)^2}$  e a variância dada por  $Var(x) = \frac{(\beta p - 4\beta - 1)p}{(1-2\beta)(1-p)^2} - \frac{E(X)}{p-1}$

#### 2.2.4. Distribuição Quasi-Lindley Truncada em Zero

Assim como procedeu-se para a distribuição Lindley, definimos a distribuição quasi-Lindley truncada em zero (ZTQLD) com função de probabilidade dada por:

$$P(X = x | X > 0, \alpha, \beta) = \left[ 1 - \frac{1}{1+\alpha} [(1-p)(1+\alpha) - \beta p] \right]^{-1} \left[ \frac{p^x}{1+\alpha} [(1-p)(1+\alpha + \beta x) - \beta p] \right]$$

em que  $x = 1, 2, 3, \dots$  e  $p = e^{-\beta}$  e  $\alpha, \beta > 0$ . Diferente das distribuições anteriores, a distribuição quasi-Lindley truncada em zero possui expressões mais complexas tanto para a média quanto para a variância, isto é, a média desta distribuição é dada por

$$E(X) = \left\{ p [\beta - (\alpha + 1)(p - 1)] \right\} / \left\{ \frac{(p-1)^2 (1+\alpha) [1 - (1-p)(1+\alpha) - \beta p]}{1+\alpha} \right\}$$

e sua variância é descrita pela expressão

$$Var(x) = \left\{ [(\alpha + 1) [\alpha + \beta + 1 - (\beta - \alpha - 1)p^2] - (2\alpha^2 + \beta^2 + 4\alpha + 2)p] p \right\} / \left\{ (p-1)^4 (1+\alpha)^2 \left[ 1 - (1-p)(1+\alpha) - \frac{\beta p}{(1+\alpha)^2} \right] \right\}$$

### 2.2.5. Outras Distribuições de Probabilidade

Diferente dos modelos anteriores, na literatura são apresentados dois modelos com domínio  $x=1,2,\dots$  que podem ser aplicados diretamente aos dados de comprimento de sequências de dias chuvosos, o geométrico e o logarítmico. Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição geométrica, se sua função de probabilidade for escrita como  $P(X = x|\theta) = \theta(1-\theta)^{x-1}$  em que  $0 < \theta < 1$ . A média e a variância dessa distribuição são dadas, respectivamente, por  $E(X) = 1/\theta$  e  $Var(X) = (1-\theta)/\theta^2$ . Por outro lado, uma variável aleatória  $X$  tem distribuição logarítmica, se sua função de probabilidade for escrita como  $P(X = x|\theta) = \theta^x / \log(1-\theta)$  em que  $0 < \theta < 1$ . A média e a variância dessa distribuição são dadas, respectivamente, por  $E(X) = -\theta / [(1-\theta)\log(1-\theta)]$  e  $Var(X) = -\theta / [(1-\theta)^2 \log(1-\theta)]$ .

## 2.3. OS DADOS

Para a análise estatística dos comprimentos das sequências de dias chuvosos, utilizamos as séries formadas pelas precipitações diárias observadas em 33 estações meteorológicas localizadas nos estados do Rio Grande do Sul (18 estações), Paraná (8 estações) e Santa Catarina (7 estações). As séries foram obtidas no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>) e abrangem período compreendido entre 1º de janeiro de 1995 e 31 de dezembro de 2015.

Os comprimentos das sequências foram contados dentro de cada mês e foram adotados como dias chuvosos os dias com precipitação superior ou igual 5.0mm/dia. Isso se dá ao fato de que, ao se estudar o clima regional do Sul do Brasil, observa-se que o mesmo possui uma pluviometria homogênea e é mesotérmico do tipo temperado. Além disso, as posições latitudinal e marítima dessa região determinam uma intensa insolação e evaporação, além de forte concentração de núcleos de condensação que contribuem para o acréscimo de chuvas sempre que essa região é atingida por frentes frias (NIMER,1977).

Uma observação levada em consideração é de que, possivelmente por algum problema operacional nas estações, o número de dias de medição não coincide com o número de dias no período considerado para a compilação dos comprimentos das sequências. Dessa forma, os meses em que o número de dias de medição não coincidiu com o número de dias do calendário foram descartados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, para cada uma das estações, é apresentado as características dos comprimentos das sequências dos dias chuvosos. A saber, a cidade onde se localiza a estação (Cidade), o código da estação segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), o

período usado na consolidação da série (De - Até), número de dias no período (n1), número efetivo de dias que a estação operou no período (n2), a porcentagem de dias que a estação não operou no período (Perdidos), número de dias com precipitação superior a 5.0mm/dia (Precipitação) e a média e variância do comprimento da sequência de dias chuvosos (Média e Var).

Observa-se, na Tabela 1, que a maior taxa de valores perdidos na série histórica ocorreu na estação RS-83916 (21.17%) e a menor (3,39%) nas estações PR-83836 e SC-83891. A estação com maior número de dias chuvosos (> 5mm) foi a PR-83844 (1724 dias) na série e a estação com menor número (685 dias) foi a RS-83953.

O pressuposto de comprimentos de sequências independentes e identicamente distribuídos não foi rejeitado em quase todas as séries, justificando assim o ajuste de distribuições aos dados observados. Em 2 das 33 séries (estações PR 83783, RS-83912) essa hipótese foi rejeitada pelos testes de Bartels e Wald Wolfowitz ao nível de significância de 1% das estações. Na estação SC-83887, a hipótese foi rejeitada apenas pelo teste de Bartels. O teste de Mann-Kendall não mostrou evidências de violação do pressuposto para nenhuma das séries. Uma revisão desses é apresentada por Machival e Jha (2012)

**Tabela 1** – Características do Banco de dados para cada Estação

Cidade	OMM	De	Até	n1	n2	Perdidos	Precipitação	Média	Var
Londrina	83766	1995-01-01	2014-12-31	7305	6446	11.76%	1217	1.59	1.02
Maringá	83767	1995-01-01	2014-11-30	7274	6233	14.31%	1207	1.55	0.94
Campo Mourão	83783	1995-01-01	2014-12-31	7305	6666	8.75%	1321	1.52	0.81
Ivaí	83811	1996-01-01	2014-12-31	6940	6175	11.02%	1263	1.54	0.74
Castro	83813	1996-01-01	2014-12-31	6940	5928	14.58%	1172	1.52	0.74
Irati	83836	1995-01-01	2014-12-31	7305	7057	3.39%	1480	1.56	0.85
Curitiba	83842	1995-01-01	2014-12-31	7305	6904	5.49%	1406	1.53	0.81
Paranaguá	83844	1995-01-01	2014-12-31	7305	6416	12.17%	1724	1.76	1.37
Indaial	83872	1995-01-01	2014-12-31	7305	6298	13.79%	1409	1.56	0.87
Irai	83881	1995-01-01	2014-12-31	7305	6418	12.14%	1362	1.54	0.85
Chapecó	83883	1995-01-01	2014-12-31	7305	6815	6.71%	1468	1.52	0.85

Campos Novos	83887	1995-01-01	2014-12-31	7305	6420	12.11%	1520	1.58	0.90
Lages	83891	1995-01-01	2014-12-31	7305	7057	3.39%	1546	1.51	0.77
Florianópolis	83897	1995-01-01	2014-12-31	7305	5872	19.62%	1311	1.52	0.79
São Luiz Gonzaga	83907	1995-01-01	2014-12-31	7305	6663	8.79%	1280	1.52	0.72
Cruz Alta	83912	1995-01-01	2014-12-31	7305	6757	7.50%	1382	1.51	0.79
Passo Fundo	83914	1995-01-01	2014-12-31	7305	6329	13.36%	1364	1.51	0.73
Lagoa Vermelha	83916	2000-01-01	2014-12-31	5479	4319	21.17%	930	1.56	0.85
Bom Jesus	83919	1995-01-01	2014-12-31	7305	6634	9.19%	1500	1.54	0.75
São Joaquim	83920	1995-01-01	2014-12-31	7305	6057	17.08%	1489	1.59	0.88
Urussanga	83923	2001-09-01	2014-08-31	4748	4687	1.28%	980	1.61	0.96
Uruguaiana	83927	1995-01-01	2014-12-31	7305	6414	12.20%	983	1.44	0.58
Santa Maria	83936	1995-01-01	2014-12-31	7305	7026	3.82%	1333	1.43	0.61
Bento Gonçalves	83941	1995-01-01	2013-12-31	6940	5536	20.23%	1144	1.52	0.69
Caxias Do Sul	83942	1995-01-01	2014-12-31	7305	6698	8.31%	1460	1.51	0.77
Torres	83948	1995-01-01	2014-12-31	7305	6082	16.74%	1223	1.53	0.81
Santana Do Livramento	83953	1998-06-01	2013-11-30	5662	4350	23.17%	685	1.42	0.49
Encruzilhada Do Sul	83964	1995-01-01	2014-12-31	7305	7026	3.82%	1344	1.46	0.58
Porto Alegre	83967	1995-01-01	2014-12-31	7305	6964	4.67%	1288	1.47	0.59
Bagé	83980	1995-01-01	2014-12-31	7305	6660	8.83%	1152	1.45	0.59
Pelotas	83985	1996-01-01	2014-08-31	6818	6113	10.34%	995	1.40	0.52
Rio Grande	83995	1995-01-01	2014-12-31	7305	6965	4.65%	1099	1.37	0.47
Santa Vitoria Do Palmar	83997	1995-01-01	2014-12-31	7305	5996	17.92%	861	1.35	0.46

Para as séries no período considerado, os parâmetros das distribuições de probabilidade propostas para a variável comprimento das sequências de dias chuvosos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança (MV) usando o pacote *fitdistplus* do software estatístico R (R CORE TEAM, 2015)

Os resultados da análise considerando os níveis de significância de 1% e 5% são apresentados na Tabela 2. Em adição, a qualidade do ajuste de cada uma das distribuições foi avaliada pelos critérios derivados do ajuste por MV, os valores do critério de informação de Akaike (AIC), do critério de informação de Akaike corrigido (AICc) e do critério de informação Bayesiano (BIC) e pelo teste qui-quadrado de aderência (Tabela 3).

**Tabela 2** – Número de séries ajustadas para cada distribuição em relação ao comprimento da sequência de dias chuvosos

Significância	ZTDL ( $\beta$ )	ZTQLD( $\alpha,\beta$ )	ZTP ( $\lambda$ )	ZTNB( $\alpha,\beta$ )	G( $\theta$ )	LG( $\theta$ )
1%	33	33	7	33	33	5
5%	31	31	5	31	31	2

Foram selecionadas as distribuições ZTDL, ZTQLD, ZTNB e G, que se ajustaram aos dados de comprimento de sequências em todas as séries, ao nível de 1% e aos dados de 31, ao nível de 5%. As distribuições ZTP e Logarítmica (LG), foram rejeitadas aos níveis de 1 e 5% para a grande maioria das séries, 7 e 5 (ZTP); e 5 e 2 (LG), respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 3** – Critérios para seleção das distribuições de probabilidade propostas para a variável comprimento de sequência de dias chuvosos em 33 estações dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Modelos	$X^2$	AIC	AICc	BIC
ZTDQL ( $\alpha,\beta$ )	9	0	0	0
ZTNB ( $\alpha,\beta$ )	16	4	4	0
G ( $\theta$ )	2	13	13	14
ZTDL ( $\beta$ )	6	16	16	19

Observa-se que o modelo ZTDL foi selecionado mais vezes de acordo com os critérios AIC, AICc e BIC. Em contrapartida, o modelo ZTQLD foi selecionado 9 vezes (27,27%) com base no teste  $x^2$  de aderência perdendo apenas para o modelo ZTNB o qual foi selecionado 16 vezes (48,48%) (Tabela 3). Embora os resultados sejam bem semelhantes entre os diferentes modelos, um outro critério de seleção de modelos poderia ser utilizado. Neste caso, podemos considerar, como critério de seleção de modelos, os valores esperados dos comprimentos das sequências de dias chuvosas para cada estação de acordo com o modelo selecionado.

Por exemplo, considerando a estação com maior número de dados perdidos, RS-83916 (ver Tabela 4), observa-se uma frequência de 8 períodos em que se houve mais do que 4 dias consecutivos de chuva. Segundo a modelagem realizada, espera-se uma frequência de 8,05 períodos para o modelo ZTQLD, 8,29 períodos para o modelo ZTNB, 7,85 períodos para o modelo ZTDL e 9,71 períodos para o modelo G.

Ainda na Tabela 4, para outros períodos, observa-se um desempenho superior na predição para a distribuição ZTDQL. Por outro lado, considerando a estação PR-83811 (ver Tabela 6) em que se observa uma frequência de 10 períodos em que se houve mais do que 4 dias consecutivos de chuva e espera-se uma frequência de 8,31 períodos para o modelo ZTQLD, 8,43 períodos para o modelo ZTNB, 10,08 para o modelo ZTDL e 12,51 períodos para o modelo G. Já para a estação SC-83872 (ver Tabela 5), a distribuição ZTDL mostra-se com uma excelente alternativa para a predição dos períodos de chuva quando comparada aos outros modelos.

Portanto, em termos de ajuste, previsão e parcimônia, os melhores modelos ajustados são os modelos propostos ZTDL e ZTQLD e, entre eles, o modelo ZTDL é o mais parcimonioso devido suas expressões matemáticas com termos mais simples e possuir apenas um parâmetro. Além disso, a concordância entre as frequências observadas dos comprimentos de sequências (1, 2,... 8) e suas respectivas probabilidades de ocorrência, considerando as distribuições ZTDL e ZTDQL propostas neste estudo, indica que essas distribuições constituem excelentes alternativas aos modelos usuais.

**Tabela 4** – Número de sequências de dias chuvosos observados e esperados das distribuições de probabilidade propostas para a variável comprimento de sequência de dias chuvosos na estação PR 83811

Comprimento das sequências	Valores Observados	Valores esperados			
		ZTDL( $\beta$ )	ZTDQL ( $\alpha,\beta$ )	G ( $\theta$ )	ZTNB ( $\alpha,\beta$ )
1	510	521,91	513,80	531,09	515,09
2	218	196,96	207,11	186,70	205,09
3	63	67,88	68,87	65,63	69,17
4	19	22,18	20,91	23,07	21,22
4+	10	10,08	8,31	12,51	8,43

**Tabela 5** – Número de sequências de dias chuvosos observados e esperados das distribuições de probabilidade propostas para a variável comprimento de sequência de dias chuvosos na estação SC - 83872

Comprimento das sequências	Valores Observados	Valores esperados			
		ZTDL( $\beta$ )	ZTDQL ( $\alpha, \beta$ )	G ( $\theta$ )	ZTNB ( $\alpha, \beta$ )
1	567	568,12	570,96	578,71	571,61
2	224	219,43	216,11	207,83	215,66
3	78	77,40	76,82	74,64	76,41
4	23	25,89	26,24	26,80	26,19
4+	11	12,16	12,88	15,02	13,13

**Tabela 6** – Número de sequências de dias chuvosos observados e esperados das distribuições de probabilidade propostas para a variável comprimento de sequência de dias chuvosos na estação RS - 83916

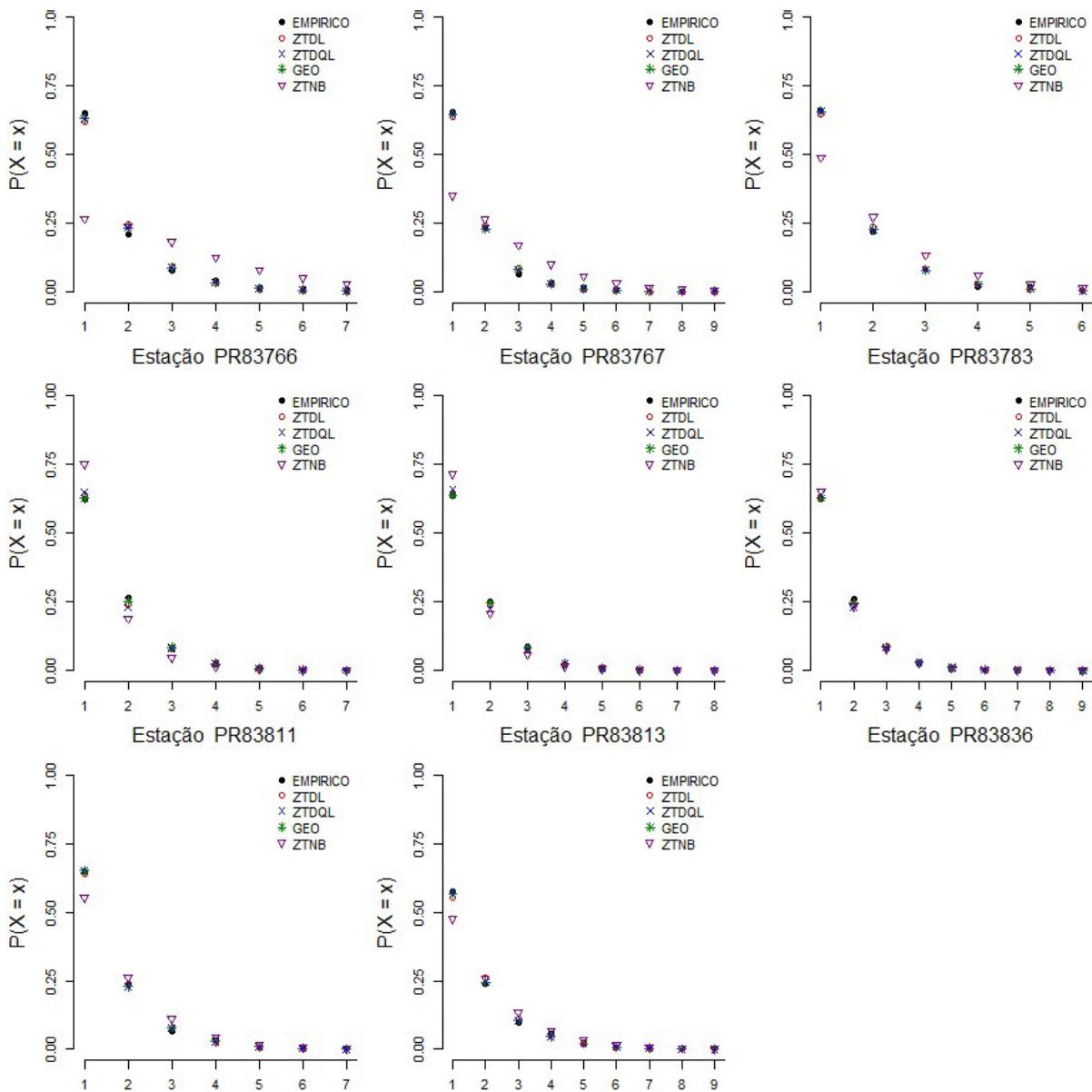
Comprimento das sequências	Valores Observados	Valores esperados			
		ZTDL( $\beta$ )	ZTDQL ( $\alpha, \beta$ )	G ( $\theta$ )	ZTNB ( $\alpha, \beta$ )
1	374	377,59	378,42	384,52	379,11
2	158	144,90	143,93	137,27	143,28
3	40	50,78	50,62	49,00	50,33
4	18	16,87	16,97	17,49	17,00
4+	8	7,85	8,05	9,71	8,28

## 4. CONCLUSÕES

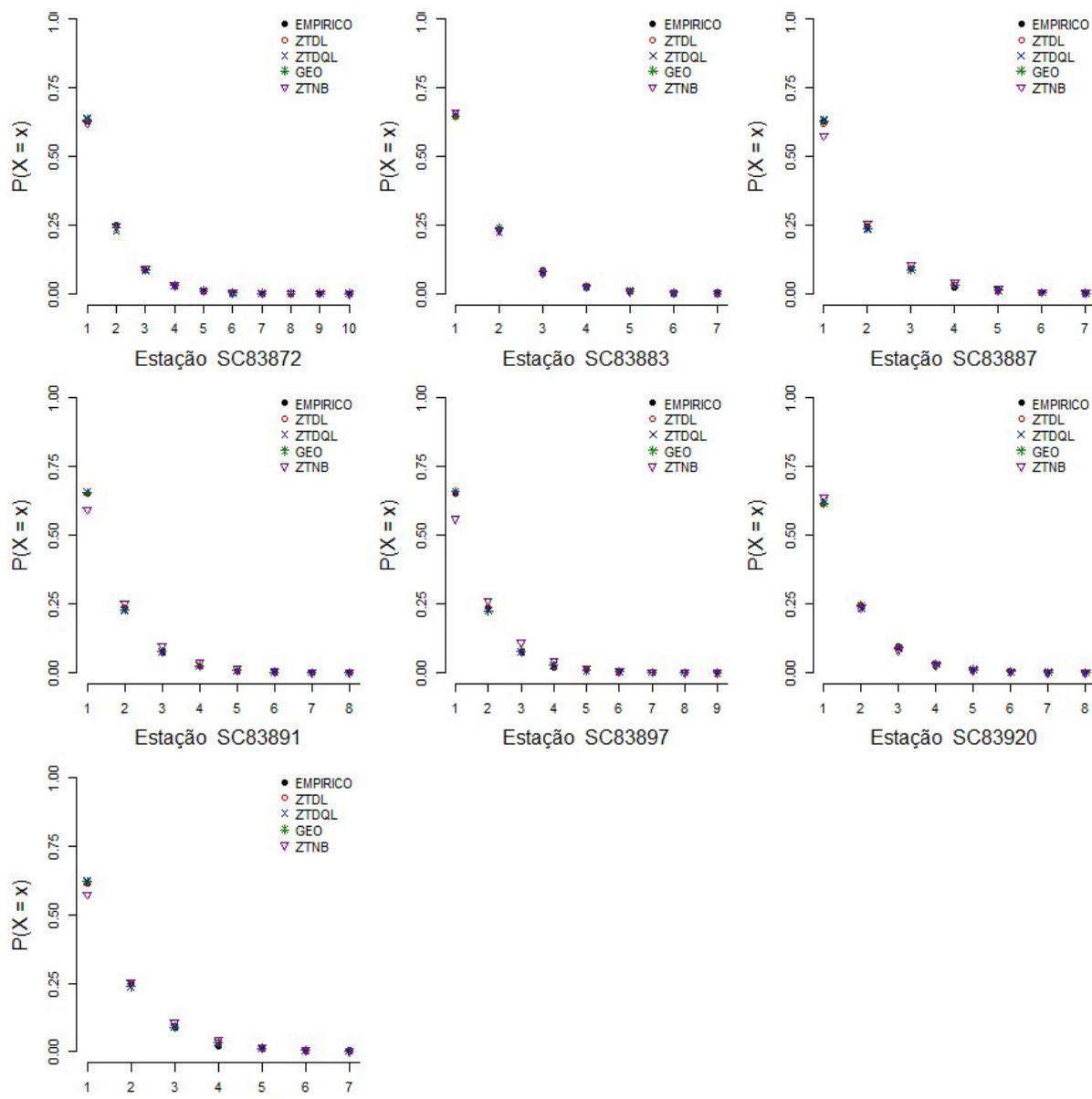
Embora as distribuições ZTDL e ZTDQL não sejam muito utilizadas na descrição de dados de precipitação ou de outras variáveis climatológicas, os resultados deste trabalho evidenciam seu potencial na análise de séries de precipitação.

As distribuições ZTDL e ZTDQL foram escolhidas o maior número de vezes como vencedora, obtendo o melhor ajuste para as estações climatológicas da Região Sul do Brasil para série histórica de até 20 anos. Estas distribuições permitem previsões de precipitação climática, que podem servir de suporte para tomada de decisões, planejamento e gestão no agronegócio de uma região.

**Figura 2** – Probabilidades de ocorrência dos comprimentos de seqüências 1, 2, ... e 8, estimadas considerando as distribuições ZTDL, ZTDQL, ZTBN e G e suas respectivas frequências observadas para oito estações do estado do Paraná: Londrina (PR – 83766), Maringá (PR 83767), Campo Mourão (PR – 83783), Ivaí (PR 83811), Castro (PR – 83836), Curitiba (PR 84842) e Paranaguá (PR – 83844)



**Figura 3** – Probabilidades de ocorrência dos comprimentos de seqüências 1, 2, ... e 8, estimadas considerando as distribuições ZTDL, ZTDQL, ZTBN e G e suas respectivas frequências observadas para oito estações do estado de Santa Catarina: Indaial (SC- 83872), Chapecó (SC – 83883), Campos Novos (SC – 83887), Lages (SC – 83891), Florianópolis (SC – 83897), São Joaquim (SC – 83920) e Urussanga (SC – 83923).



## REFERÊNCIAS

ANAGNOSTOPOULOU, C. H. R. et al. Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. **Theoretical and applied climatology**, v. 74, n. 1, p. 77-91, 2003.

BAKOUCH, Hassan S.; JAZI, M. Aghababaei; NADARAJAH, Saralees. A new discrete distribution. **Statistics**, v. 48, n. 1, p. 200-240, 2014.

BARRON, Jennie et al. Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east Africa. **Agricultural and forest meteorology**, v. 117, n. 1-2, p. 23-37, 2003.

- BARTELS, Robert. The rank version of von Neumann's ratio test for randomness. **Journal of the American Statistical Association**, v. 77, n. 377, p. 40-46, 1982.
- DENI, S. Mohd; JEMAIN, A. A.; IBRAHIM, K. The spatial distribution of wet and dry spells over Peninsular Malaysia. **Theoretical and applied climatology**, v. 94, n. 3, p. 163-173, 2008.
- DENI, Sayang Mohd; JEMAIN, Abdul Aziz. Mixed geometric truncated poisson model for sequences of wet days. **Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 21, p. 3975-3980, 2008.
- DENI, Sayang Mohd; JEMAIN, Abdul Aziz. Fitting the distribution of dry and wet spells with alternative probability models. **Meteorology and atmospheric physics**, v. 104, n. 1, p. 13-27, 2009.
- DENI, Sayang Mohd; JEMAIN, Abdul Aziz. Mixed log series geometric distribution for sequences of dry days. **Atmospheric Research**, v. 92, n. 2, p. 236-243, 2009.
- DENI, Sayang Mohd; JEMAIN, Abdul Aziz. Comparison between mixed probability models and Markov chain models for weekly dry and wet spells in peninsular Malaysia. In: **Proceedings of the World Congress on Engineering**. 2012.
- DOBI-WANTUCH, I.; MIKA, J.; SZEIDL, L. Modelling wet and dry spells with mixture distributions. **Meteorology and atmospheric physics**, v. 73, n. 3, p. 245-256, 2000.
- GÓMEZ-DÉNIZ, Emilio; CALDERÍN-OJEDA, Enrique. The discrete Lindley distribution: properties and applications. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, v. 81, n. 11, p. 1405-1416, 2011.
- GROGGER, Jeffrey T.; CARSON, Richard T. Models for truncated counts. **Journal of applied econometrics**, v. 6, n. 3, p. 225-238, 1991.
- HILBE, Joseph M. **Negative binomial regression**. Cambridge University Press, 2011.
- JAIN, G. C.; CONSUL, P. C. A generalized negative binomial distribution. **SIAM Journal on Applied Mathematics**, v. 21, n. 4, p. 501-513, 1971.
- JOHNSON, N.; KEMP, A.; KOTZ, S. **Wiley series in probability and statistics**. 2005.
- LANA, X. et al. Statistical distributions and sampling strategies for the analysis of extreme dry spells in Catalonia (NE Spain). **Journal of hydrology**, v. 324, n. 1-4, p. 94-114, 2006.
- MACHIWAL, Deepesh; JHA, Madan Kumar. **Hydrologic time series analysis: theory and practice**. Springer Science & Business Media, 2012.
- MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.
- MATHUGAMA, S. C.; PEIRIS, T. S. G. Critical evaluation of dry spell research. **Int. J. Basic Appl. Sci**, v. 11, n. 6, p. 153-160, 2011.

MCCALLA, R. J.; DAY, E. E. D.; MILLWARD, H. A. The relative concept of warm and cold spells of temperature: methodology and application. **Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B**, v. 25, n. 4, p. 323-336, 1978.

NAKAGAWA, Toshio; OSAKI, Shunji. The discrete Weibull distribution. **IEEE transactions on reliability**, v. 24, n. 5, p. 300-301, 1975.

NIMER, E. Geografia do Brasil: Região Sul. **Rio de Janeiro, Fund. IBGE**, v. 5, 1977.

CORE TEAM, R. et al. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2013). **Supplementary Figure S**, v. 2, 2015.

SEN, Zekai. **Spatial modeling principles in earth sciences**. Springer International Publishing, 2016.

SHAW, Elizabeth M. et al. **Hydrology in practice**. CRC press, 2010.

WALD, Abraham; WOLFOWITZ, Jacob. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 14, n. 4, p. 378-388, 1943.

ZIN, Wan Zawiah Wan; JEMAIN, Abdul Aziz. Statistical distributions of extreme dry spell in Peninsular Malaysia. **Theoretical and applied climatology**, v. 102, n. 3, p. 253-264, 2010.

ZUUR, Alain et al. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. Springer Science & Business Media, 2009.

## ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF RAINY DAYS IN THE SOUTH REGION OF BRAZIL IN PROBABILITY TERMS

**ABSTRACT** – The analysis of the distribution of rainy periods based on diary precipitation is increasingly important for the population of a given region and such analyzes can be used for decision making and/or forecasts. In this way, it is important to evaluate the performance of various probability distributions to describe the behavior of the length of rainy days. In the literature, traditional probability models such as geometric probability distributions (G), Poisson truncated at zero (ZTP), logarithmic (LG) and negative binomial truncated at zero (ZTNB) are the most common in this type of analysis. This article identifies two discrete univariate distributions univariate by the Nakagawa and Osaki method (1975), as probability distributions truncated at zero Lindley (ZTDL) and quasi-Lindley (ZTQLD), as good possible alternatives to the ZTP, ZTNB and G. distributions. The results sought that the ZTDL and ZTDQL distributions are very promising for modeling the rainy periods with equivalent / superior adjustments to the ZTP, ZTNB and G models.

**KEYWORDS:** Rainy days, probability distributions truncated zero, maximum likelihood estimate

# CAPÍTULO 2

## ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC) PARA AS DIFERENTES REGIÕES INTERMEDIÁRIAS DO ESTADO DO PARANÁ NA SEGUNDA DÉCADA DO SÉCULO XXI

**Manoel Sotti Junior**

Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama - Paraná

**Ricardo Puziol de Oliveira**

<http://lattes.cnpq.br/8509404558611596>  
Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama - Paraná

**Juliano Katayama Groff**

<http://lattes.cnpq.br/7848247461952337>  
Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama - Paraná

**Marcos Vinícius de Oliveira Peres**

<http://lattes.cnpq.br/8461081481802737>  
Universidade Estadual de Maringá, Cidade  
Gáúcha, Paraná

**Yara Campos Miranda**

<http://lattes.cnpq.br/0018928274834963>  
Universidade Estadual de Maringá,  
Umuarama – Paraná

**RESUMO** – Uma das formas de se estudar a precipitação pluvial de determinada região é por meio de Índices de Anomalia de Chuva (IAC). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar o IAC nas seis diferentes regiões intermediárias presen-

tes no Estado do Paraná, utilizando dados de precipitação mensais de 27 estações automáticas entre 2011 a 2020, evidenciando as características pluviométricas trimestrais ou sazonais de cada região. Com estes dados, foi possível observar de forma de geral que todas as regiões, exceto a de Curitiba, apresentaram mais anomalias secas do que úmidas no decorrer desses 10 anos. Curitiba também apresentou a maior média pluviométrica anual. Foi possível visualizar que no Inverno ocorre a maioria das anomalias de extrema seca, tendo na Primavera a maioria das anomalias extremamente úmidas e que o ano 2020 foi o mais seco da série histórica, tendo como possível explicação a atuação do fenômeno La Niña no estado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estações meteorológicas, Precipitação, Mudanças Climáticas

### 1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas de maior importância para a sociedade, por influenciar diretamente as atividades humanas, em que o seu excesso (enchentes) ou escassez

(secas) ocasionam danos socioeconômicos e ambientais significativos (DINIZ, 2013). Com as alterações na precipitação pluvial devido às mudanças climáticas, levando a aumento significativo de eventos extremos de secas e chuvosos (COSTA *et al.*, 2015), ativa a necessidade de um melhor conhecimento e interpretação das escalas da variabilidade pluviométricas, que podem ser efetuadas, por meio de índices (ALVES *et al.*, 2016).

Uma das formas de se estudar a precipitação pluviométrica é por meio do Índice de Anomalias de Chuva (IAC), que auxilia no monitoramento dos anos de seca e chuva excessiva. O IAC é calculado na escala de tempo semanal, mensal, trimestral ou anual, e necessita apenas de dados de precipitação. Esse índice permite realizar comparações do regime pluviométrico de determinado local a partir de uma série de dados históricos com as condições atuais de chuva e também é utilizado para a caracterização da variabilidade espaço-temporal da precipitação na região de estudo (ARAÚJO *et al.*, 2007; MARCUZZO *et al.*, 2011; SANCHES *et al.*, 2014).

Esse índice foi desenvolvido inicialmente por Van Rooy (1965) e é aplicado para classificar as severidades positivas e negativas nas anomalias das chuvas. Muitos pesquisadores utilizaram este método, tal como Freitas (1998) utilizou o IAC para áreas inseridas no estado do Ceará, verificando a relação da precipitação atual com valores da média histórica para três postos pluviométricos, destacando que o método serve para a análise da distribuição e da intensidade dos eventos de precipitação, principalmente para as ocorrências de secas.

O Estado do Paraná caracteriza-se, do ponto de vista climático, como uma região de transição entre os climas tropical (Cfb) e subtropical (Cfa). Durante o inverno, as passagens de frentes frias são mais intensas, podendo alcançar latitudes muito baixas. As massas polares que produzem esses sistemas frontais geram resfriamentos (especialmente entre maio e outubro) que resultam em baixa temperatura, o que prejudica a produção agrícola (NITSHE *et al.*, 2019). Neste sentido, entender as anomalias climáticas do estado pode auxiliar no planejamento ambiental e urbano da região.

Com base nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da chuva por meio do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) de forma trimestral nas seis regiões intermediárias do Estado do Paraná, utilizando os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das 27 estações automáticas que estiveram em algum momento em operação na segunda década do século XXI, entre 2011 e 2020.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho está estruturado com base nos dados fornecidos pelo INMET das 27 estações automáticas presentes no estado do Paraná durante o período de tempo analisado. Tais informações foram utilizadas para o cálculo dos índices de anomalia de chuva trimestrais.

Para tanto, utilizou-se a metodologia sugerida por Van Rooy (1965) e adaptada por Freitas (2005), a fim da obtenção do índice de anomalia de chuva (IAC), positivas e negativas. Posteriormente foram criados gráficos de médias mensais de precipitação para o período, e

para as anomalias em si. Foi discutido as possíveis causas do ano mais seco da série, 2020, e realizado o levantamento de alguns pontos mais relevantes do trabalho.

Os dados de precipitação mensais utilizados nessa análise são oriundos das 27 estações meteorológicas automáticas (Tabela 1) do INMET que estiveram em algum momento em funcionamento entre 2011 a 2020, nas seis regiões intermediárias do Paraná (Cascavel, Curitiba, Guarapuava, Londrina, Maringá, Ponta Grossa). Estes dados estão disponíveis para livre acesso através do *site* do INMET.

**Tabela 1** – Estações meteorológicas automáticas do Estado do Paraná.

Regiões Intermediárias	Estações automáticas	Lat.	Long.	Alt.(m)
Cascavel	Clevelândia	26°25'2"	52°20'55"	966
	Dois Vizinhos	25°41'57"	53°05'43"	546
	Foz do Iguaçu	25°36'7"	54°28'59"	235
	Laranjeiras do Sul	25°22'8"	52°23'31"	835
	Marechal Candido Rondon	24°32'0"	54°1'9"	392
	Planalto	25°43'19"	53°44'53"	399
Curitiba	Colombo	25°19'21"	49°09'28"	950
	Curitiba	25°26'55"	49°13'50"	923
	General Carneiro	26°23'55"	51°21'13"	1009
	Ilha do Mel	25°29'40"	48°19'34"	4
	Morretes	25°30'32"	48°48'31"	50
	São Mateus do Sul	25°50'8"	50°22'8"	780
Guarapuava	Inácio Martins	25°34'4"	51°4'40"	1209
	Nova Tebas	24°26'14"	51°57'47"	656
Londrina	Japira	23°46'24"	50°10'50"	693
	Joaquim Távora	23°30'19"	49°56'47"	512
	Nova Fatima	23°24'55"	50°34'40"	664
Maringá	Campina da Lagoa	24°34'15"	52°48'1"	598
	Cidade Gaúcha	23°21'33"	52°55'55"	366
	Diamante do Norte	22°38'22"	52°53'25"	368
	Goioerê	24°9'30"	53°1'50"	452
	Icaraíma	23°23'25"	53°38'9"	381
	Maringá	23°24'19"	1°55'58"	549
Ponta Grossa	Paranapoema	22°39'30"	52°8'4"	309
	Castro	24°47'13"	49°59'57"	994
	Ivaí	25°0'39"	50°51'14"	804
	Ventania	24°16'49"	50°12'37"	1093

Quando ocorreram falhas nos dados de precipitação mensal, foi realizada uma média aritmética dos períodos, sendo posteriormente transformados em dados trimestrais, visando uma melhor definição dos períodos de secas e úmidos de cada uma das regiões.

Para a plotagem dos dados da série histórica, assim como uma aproximação dos períodos sazonais do estado do Paraná, bem como para a transformação destes por meio de ferramentas estatísticas, utilizou-se o *software* Microsoft Office Excel. Já na determinação do IAC, utilizou-se a metodologia sugerida por Van Rooy (1965) e adaptada por Freitas (2005), a fim da obtenção das anomalias positivas e negativas, conforme as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{IAC Positivo} = 3 * \left[ \frac{(N - N1)}{(M - N1)} \right] \text{ (eq. 1)}$$

$$\text{IAC Negativo} = - 3 * \left[ \frac{(N - N1)}{(X - N1)} \right] \text{ (eq. 2)}$$

em que:

N – Precipitação observada do trimestre em que será gerado o IAC (mm);

N1 – Precipitação média trimestral da série histórica (mm);

M – Média das dez maiores precipitações trimestrais da série histórica (mm);

X – Média das dez menores precipitações trimestrais da série histórica (mm).

Para realização da disposição dos municípios em termos de IAC, foi utilizada a classificação elaborada por Araújo e colaboradores (2009) para os anos secos e úmidos. A classificação é feita de acordo com os valores registrados para o IAC (Tabela 2).

**Tabela 2** – Classes do Índice de Anomalias de Chuva.

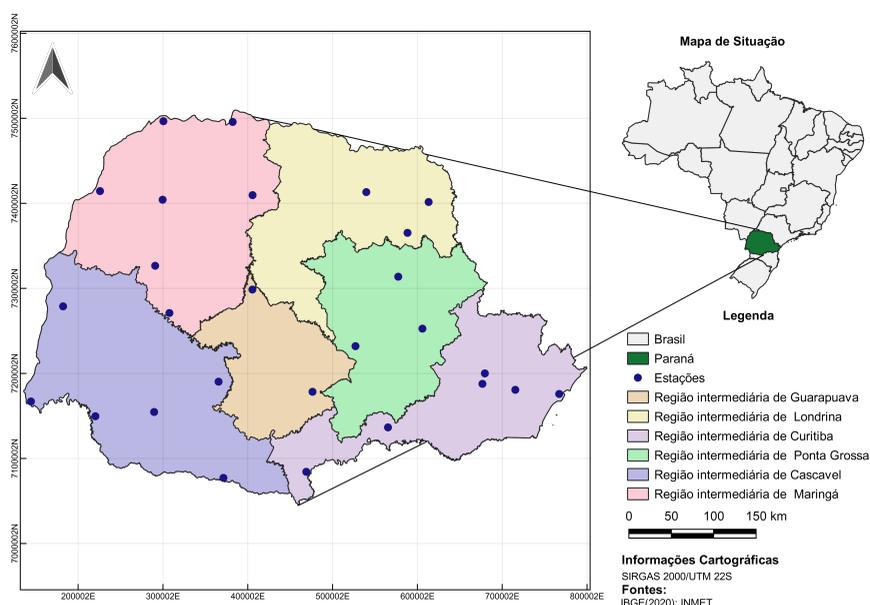
	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	> 4	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito Úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	< -4	Extremamente Seco

Fonte: Araújo et al. (2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estações meteorológicas estão distribuídas em todo o território paranaense (Figura 1). Entretanto, vale ressaltar que ocorre uma má distribuição do número de estações entre as diferentes regiões analisadas, uma vez que as regiões intermediárias de Londrina e Ponta Grossa contam com três estações cada, e a de Guarapuava com apenas duas. Bier e Ferraz (2017) afirmam que a falta de estações meteorológicas prejudica o diagnóstico ambiental das regiões, dificultando assim o entendimento das anomalias climáticas em menor escala.

**Figura 1** – Mapa de localização regiões intermediárias do Estado do Paraná.



No que tange ao clima e as características pluviométricas de cada região intermediária, foi exposto nos Apêndices o comportamento da normal climatológica mensal e trimestral ou sazonais para a precipitação pluvial, permitindo a visualização das épocas chuvosas e secas de cada região.

A região intermediária de Curitiba apresentou uma precipitação média anual 1731 mm, sendo a mais chuvosa do Estado do Paraná e concentrando os maiores valores de precipitação no 1º trimestre (Verão) de cada ano com média de 617 mm, representando 35,6 % da precipitação anual, com o mês de janeiro o mês mais chuvoso (Apêndice F). Tal dado é corroborado por um estudo realizado por Castelhana e Pinheiro (2017) que realizaram o cálculo do IAC no período de 2005 a 2014 e constataram que este elevado índice pluviométrico possui como possível explicação a maior proximidade com o oceano e o clima categorizado como subtropical úmido.

Considerando a segunda região mais chuvosa do estado do Paraná, destaca-se Cascavel (Apêndice A) com 1678 mm, apresentando juntamente com a região de Ponta Grossa (1490mm) (Apêndice B), a melhor distribuição de chuva mensal do estado, dentro da série histórica analisada.

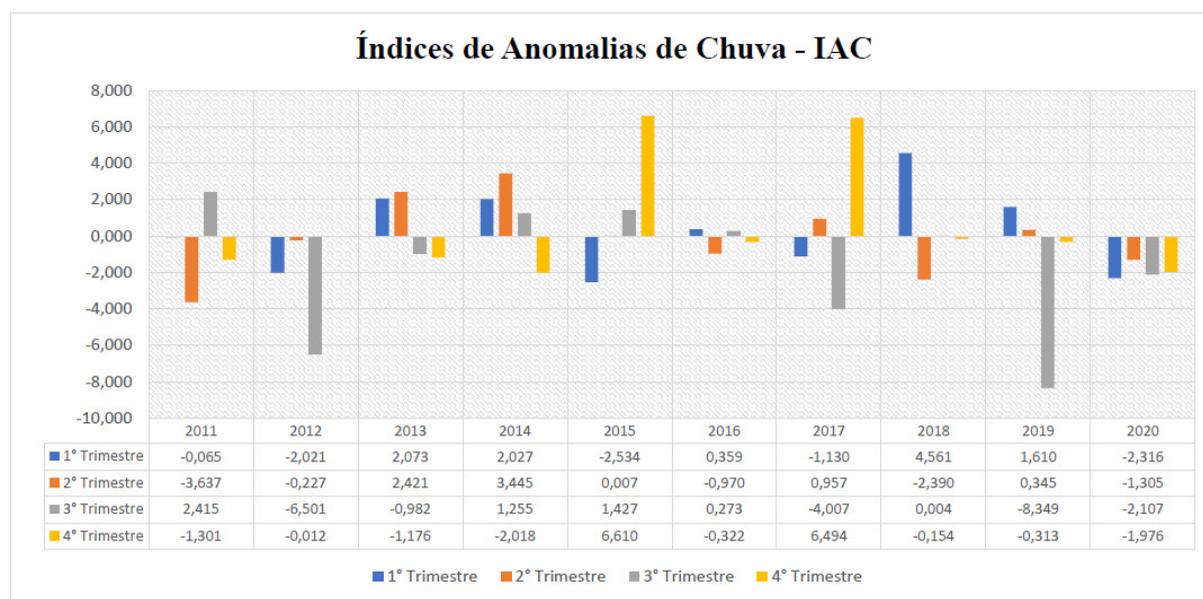
Todas as regiões intermediárias do Paraná apresentam similaridades entres os períodos secos e chuvosos, tendo a 1° e o 4° trimestres como os mais chuvosos de cada região, e consequentemente o 2° e o 3° trimestres como os mais secos, sendo o 3° trimestre (Inverno) o mais seco de todas as regiões e 1° trimestre (Verão) como o mais chuvoso, exceto para a região intermediária de Londrina (Apêndice D), que apresenta o 4° trimestre (Primavera) como mais chuvoso, representando 32,8% da precipitação anual, que também é caracterizado por apresentar a menor média anual de precipitação, de 1320 mm .

A região intermediária de Maringá (Apêndice C) foi a que apresentou o 3° trimestre (Inverno) mais seco com 14% da precipitação anual, sendo também a segunda região mais seca do estado levando em conta a precipitação anual média de 1423 mm. Já a região intermediária de Guarapuava, com média de precipitação anual de 1560 mm, foi a que apresentou a menor média de precipitação para o mês de agosto (54 mm) (Apêndice E), para os dez anos de dados levados em consideração nesse trabalho.

Através dessa base de dados, é possível ter um melhor embasamento para a discussão dos resultados do IAC para as diferentes regiões intermediárias:

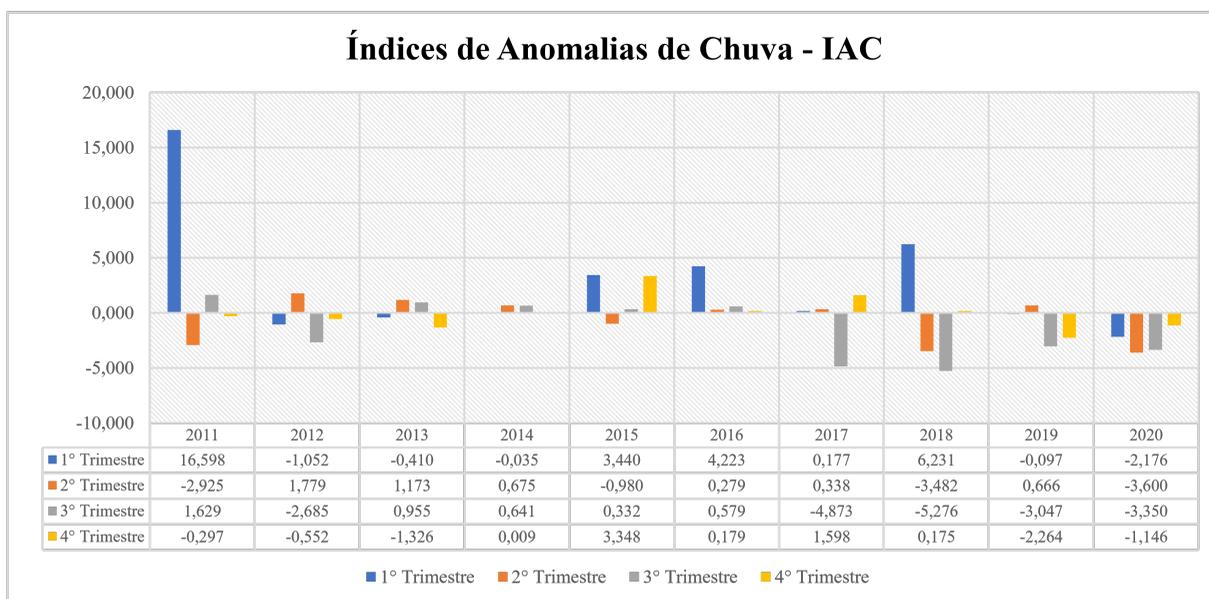
A região de Cascavel, apesar de ser a região com melhor distribuição pluviométrica do estado do Paraná, apresentou 23 eventos secos e 17 úmidos (Figura 2), sendo sete eventos muito secos e cinco muito úmidos e três eventos extremamente secos e extremamente úmidos, respectivamente. O ano de 2019, em seu terceiro trimestre, teve o maior índice negativo registrado entre todas as regiões analisadas. Costa e Silva (2017) afirmam que anomalias relacionadas a seca impactam negativamente a produtividade agrícola e o abastecimento de água das regiões, influenciando também na saúde da população.

**Figura 2** – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Cascavel



A região de Curitiba, foi a única a apresentar mais eventos úmidos do que secos dentre as regiões analisadas (Figura 03), sendo oito eventos muito secos e dois muito úmidos, dois eventos extremamente secos e três extremamente úmidos. Um estudo realizado por Castelhana e Pinheiro (2017) encontrou a relação inversa entre as anomalias de chuva com a concentração de materiais particulados de Curitiba. Assim, as anomalias de precipitação devem ser levadas em consideração em estudos que envolvam a qualidade do ar nas cidades.

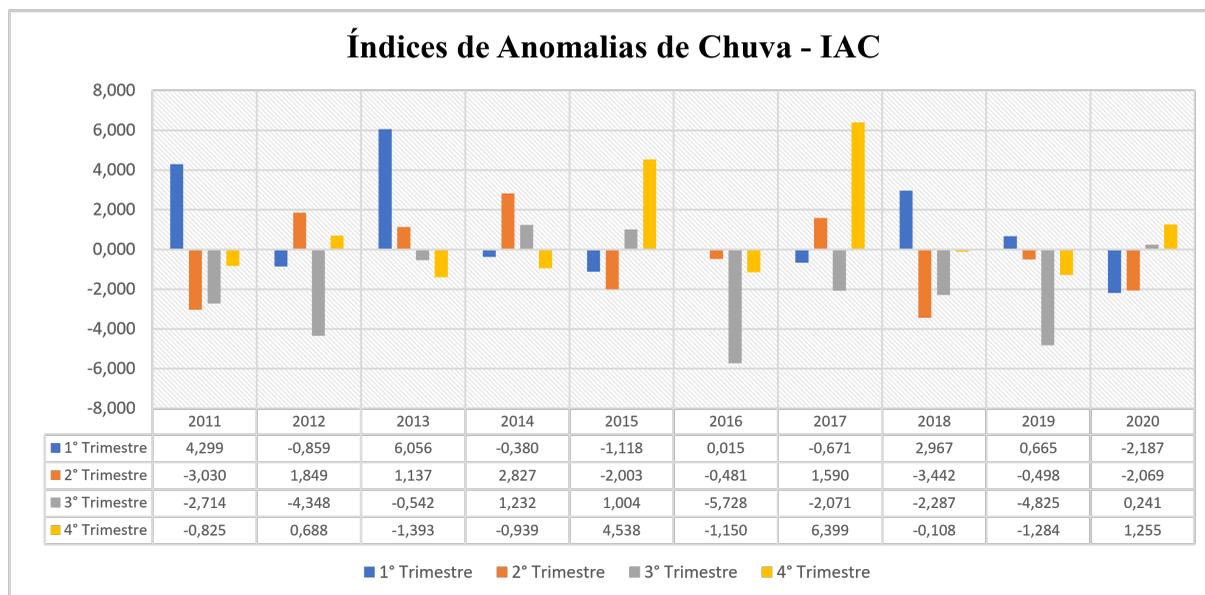
**Figura 3** – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Curitiba.



Curitiba também é marcada por ser uma região com clima e precipitações bem definidas, com os eventos extremamente secos ocorrendo no 3º trimestre (Inverno), e com três eventos extremamente úmidos ocorrendo no 1º trimestre (Verão). Vale destacar a anomalia ocorrida no ano de 2011 no 1º Trimestre como sendo o maior evento úmido ocorrido dentre todas as regiões. De acordo com Bitencourt e Scortegagna (2015) as chuvas convectivas, que são abundantes no verão, podem ter influenciado neste índice, uma vez que podem estar relacionadas a fenômenos antrópicos tal como as ilhas de calor urbanas.

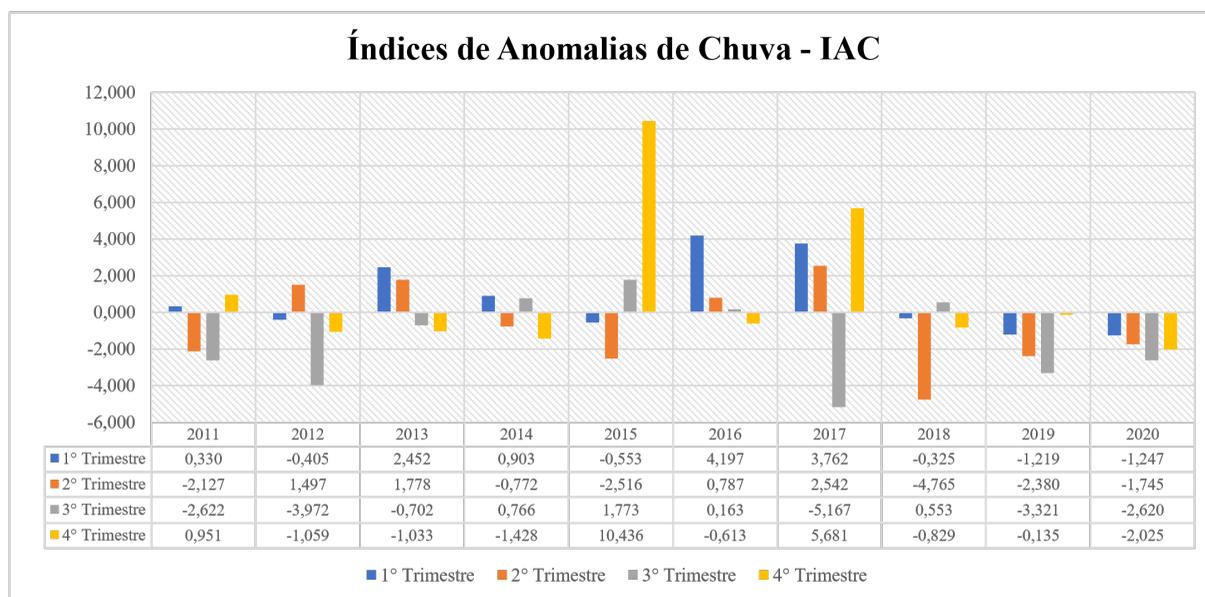
Considerando a região de Guarapuava, esta apresentou 24 eventos secos e 16 úmidos (Figura 4), sendo juntamente com a região de Londrina a que mais tem ocorrência de eventos secos, uma vez que apresentou sete eventos muito secos, sendo três eventos extremamente secos no 3º Trimestre (Inverno), tendo o mês de agosto como o de menor precipitação média do estado. Quanto aos eventos úmidos, ocorreram dois muito úmidos, e quatro extremamente úmidos no 4º Trimestre (Primavera). É marcada por ser uma região com clima bem definido e precipitações irregulares.

Figura 4 – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Guarapuava.



A região de Londrina é a com menor média pluviométrica dentre as regiões, apresentando 24 eventos secos e 16 úmidos (Figura 5), sendo, juntamente com a região de Guarapuava, a que mais tem ocorrência de eventos secos, com oito eventos muito secos e três muito úmidos, dois eventos extremamente secos e três extremamente úmidos, respectivamente. É marcada por ser uma região com clima e precipitações irregulares, com os eventos extremamente secos ocorrendo no 2º Trimestre (Outono) e no 3º Trimestre (Inverno), tendo o 4º Trimestre (Primavera) como o de maior incidência de índices secos (7), com dois dos índices extremamente úmidos ocorrendo nesse período, sendo um deles o segundo maior evento desse tipo no Estado do Paraná para o período.

Figura 5 – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Londrina.

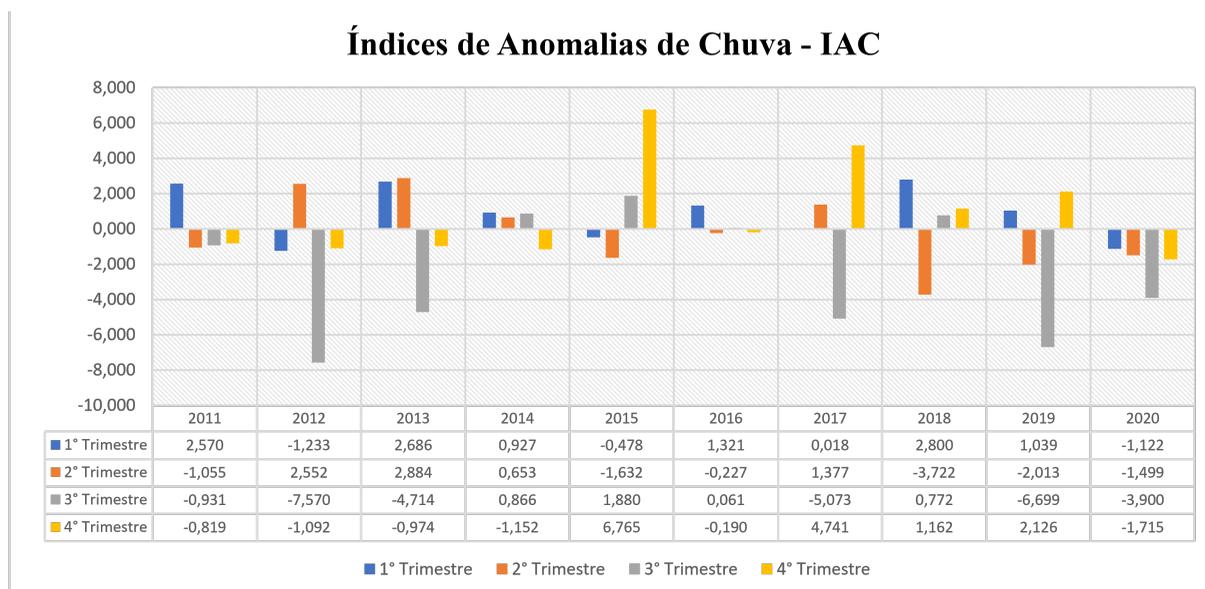


Vale ressaltar, quanto as anomalias negativas de chuva os anos de 2012 e 2017, uma vez que ambos podem ter sofrido influência do fenômeno La Niña, no qual está associado a uma diminuição dos índices de precipitação para a região sul, acarretando assim em um aumento de períodos de seca (INPE, 2020).

A região de Maringá apresentou 21 eventos secos e 19 úmidos, sendo a segunda região mais seca do Estado, tendo três eventos muito secos e seis muito úmidos, quatro eventos extremamente secos e dois extremamente úmidos, respectivamente. É marcada por ser uma região com clima e precipitações irregulares, com os eventos extremamente secos ocorrendo no 3º Trimestre (Inverno), sendo que dois desses índices negativos (2012 e 2019) são respectivamente o 2º e 4º menores dentre as regiões no período analisado, tendo a ocorrência dos eventos extremamente úmidos no 4º Trimestre (Primavera).

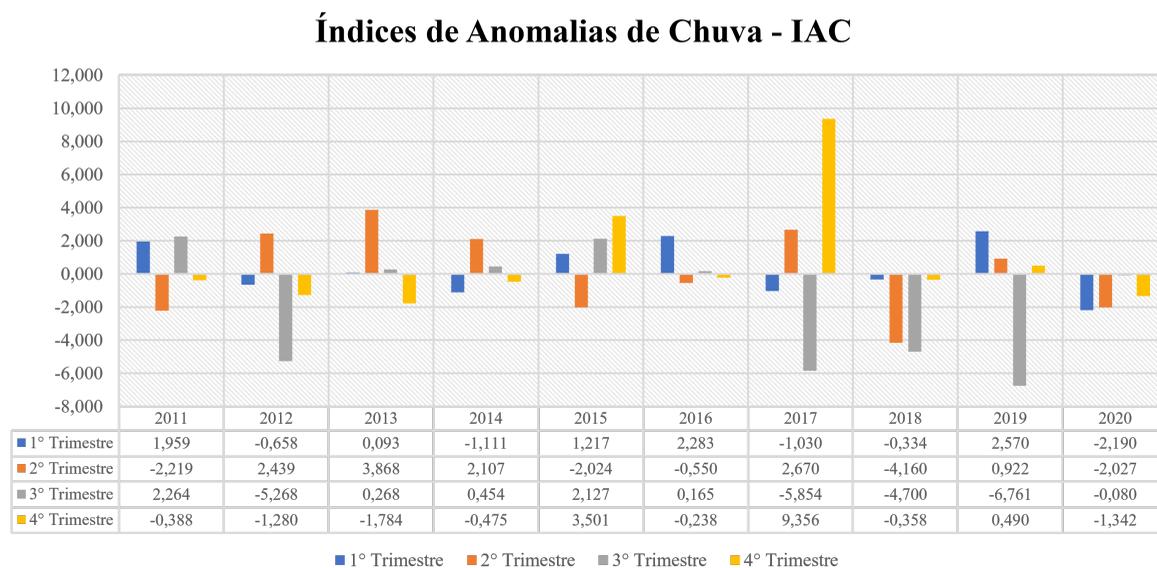
Considerando o ano de 2015, o quarto trimestre foi marcado por um elevado índice de precipitação, tanto na região de Londrina, quanto na de Maringá (Figuras 5 e 6). Tal fato pode estar associado a uma forte atuação do fenômeno El Niño, que, devido ao aquecimento das águas do pacífico, favorece o aumento das chuvas na região sul (INPE, 2020).

**Figura 6 – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Maringá**



Considerando o IAC, a região de Ponta Grossa (Figura 7), apresentou 22 eventos secos e 18 úmidos sendo a região com melhor distribuição pluviométrica entre os 4º Trimestres, tendo quatro eventos muito secos e nove muito úmidos, cinco eventos extremamente secos e um extremamente úmido, respectivamente. É marcada por ser uma região com clima e precipitações bem definidas, com os eventos extremamente secos ocorrendo um no 2º Trimestre (Outono) e quatro no 3º Trimestre (Inverno), tendo o 4º Trimestre (Primavera) como o de maior incidência de índices secos (7), com o único índice extremamente úmido ocorrendo nesse período, sendo ele o terceiro maior registrado no Estado do Paraná para o período.

Figura 7 – Índice de anomalia de chuva região intermediária de Ponta Grossa.



Desta forma, é possível observar que a precipitação do estado do Paraná apresenta especificidades de acordo com a região analisada, podendo ser influenciada por fenômenos como as ilhas de calor urbanas, El Niño e La Niña. Assim, o entendimento de tais variáveis favorece o planejamento adequado das regiões, tanto no sentido de melhor aproveitamento agrícola, quanto também das diversas atividades humanas que dependem dos regimes de precipitação.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que no 3° Trimestre dos anos de 2012, 2017 e 2019, foram registrados índices em sua maioria extremamente negativos, dados esses que correspondem a baixa precipitação ocorrida nesses períodos e que mostram que o inverno paranaense tem tendência para eventos extremos de seca. Já no 4° Trimestre dos anos de 2015 e 2017, se deram os períodos de maior ocorrência de índices extremos de chuva para o Estado do Paraná, sendo a primavera a estação do ano com maior ocorrência de eventos extremos positivos no estado.

Em contrapartida, o ano de 2020 foi o ano mais seco da série histórica analisada, sendo que apenas a região de Guarapuava apresentou dois índices positivos no segundo semestre. Dentre os índices de anomalia de chuva calculados para esse ano, nenhum foi extremamente seco; contudo, 12, de um total de 24, foram muito secos. A seca foi a maior ocorrida no sul do Brasil no século XXI e se deu por diversos fatores; alguns dos fenômenos climáticos que ajudam a explicar a estiagem ocorrida são as oscilações de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico, assim como o El Niño Central, em que há aumento da temperatura no centro do Pacífico, afetando a distribuição das chuvas na América do Sul.

Por fim, o índice IAC provou ser um método útil para a análise de períodos secos e chuvosos, apresentando boa variabilidade de ano para ano e de evento para evento para fins

descritivos do que acontece em termos climatológicos. Uma análise mais profunda desse índice baseia-se em modelos matemáticos que incorporem essa variável para fazer previsões a respeito da pluviosidade de uma determinada região. Além disso, *softwares* computacionais podem ser utilizados como ferramentas para o cálculo do IAC, e também para uma modelagem matemática mais rígida a respeito do tópico discutido neste estudo.

## REFERÊNCIAS

ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N. Índice De Anomalia De Chuva Para Diferentes Mesorregiões Do Estado De Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 37, 30 maio 2016.

ARAÚJO, L. E.; MORAES, NETO, J. M.; SOOUSA, F. A. S. Análise Climática da Bacia do Rio Paraíba - Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p.508-523, 2009.

ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007.

BITENCOURT, A. M.; SCORTEGAGNA, A. A Influência Dos Fenômenos El Niño E La Niña Na Precipitação E Na Ocorrência Dos Desastres Naturais Na Cidade De Curitiba—Pr Nos Anos De 2004 A 2013. **Caderno PAIC**, v. 16, n. 1, p. 257-268, 2015.

BRYNSZTEIN, S.; NERY, J. T. Estudo da Variabilidade da temperatura mínima de Maringá: máxima entropia. **Revista Unimar**, Maringá, v. 16, n. 3, p. 539-553, 1994.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M. Anomalias de chuvas e sua relação com partículas totais em suspensão em Curitiba/PR. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2342-2353, 2017.

DA SILVA, D. F., KAYANO, M. T., SOUSA, F. de A. S., ARAÚJO, L. E. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Mundaú usando IAC. **Revista Unopar Científica** 7, 12-29, 2009.

DINIZ, J. M. T., Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. **Holos**, v. 3, p. 171-180, 2013.

NERY, J. T. *et al.* Índice De Anomalia De Chuva Aplicado Ao Estudo Das Precipitações No Estado Do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 27, n. 16, p. 772-788, 05 nov. 2020. Semestral.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da Precipitação no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria. 4(2): 81-9, 1996b.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 04 abr. 2021.

RADIN, B.; MATZENAUER, R.; MELO, R. W.; WREGE, M. S.; STEINMENTZ, S. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1161, 24 jul. 2017.

VAN ROOY, M. P. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, Notes, 14- 43, 1965.

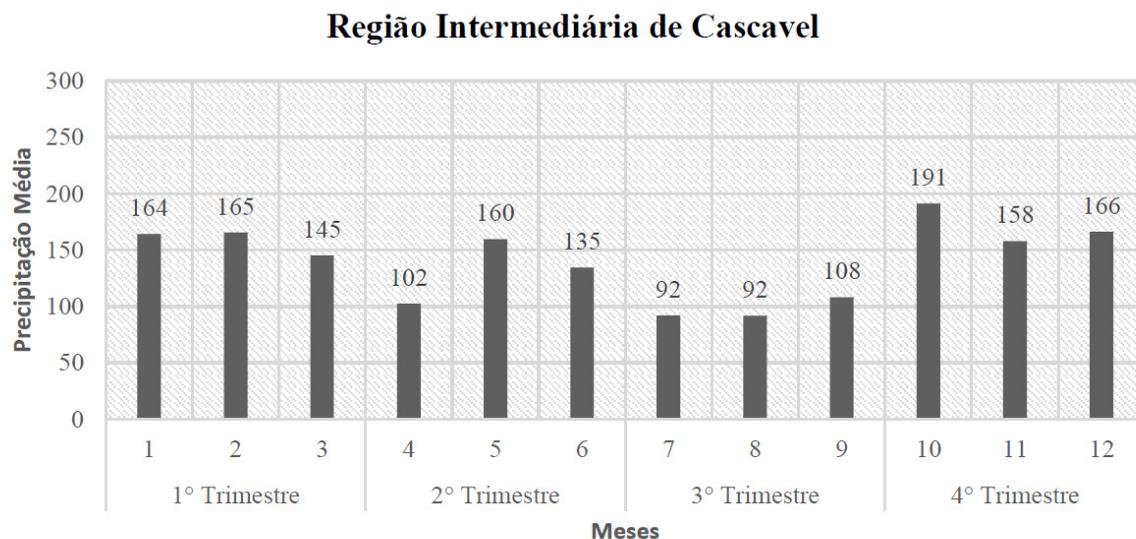
SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). Caminhos de Geografia, v. 15, n. 51, p. 73–84, 2014.

## ANOMALY INDEX FOR RAINFALL IN DIFFERENT INTERMEDIATE REGIONS OF THE PARANÁ STATE ON THE SECOND DECADE OF 21ST CENTURY

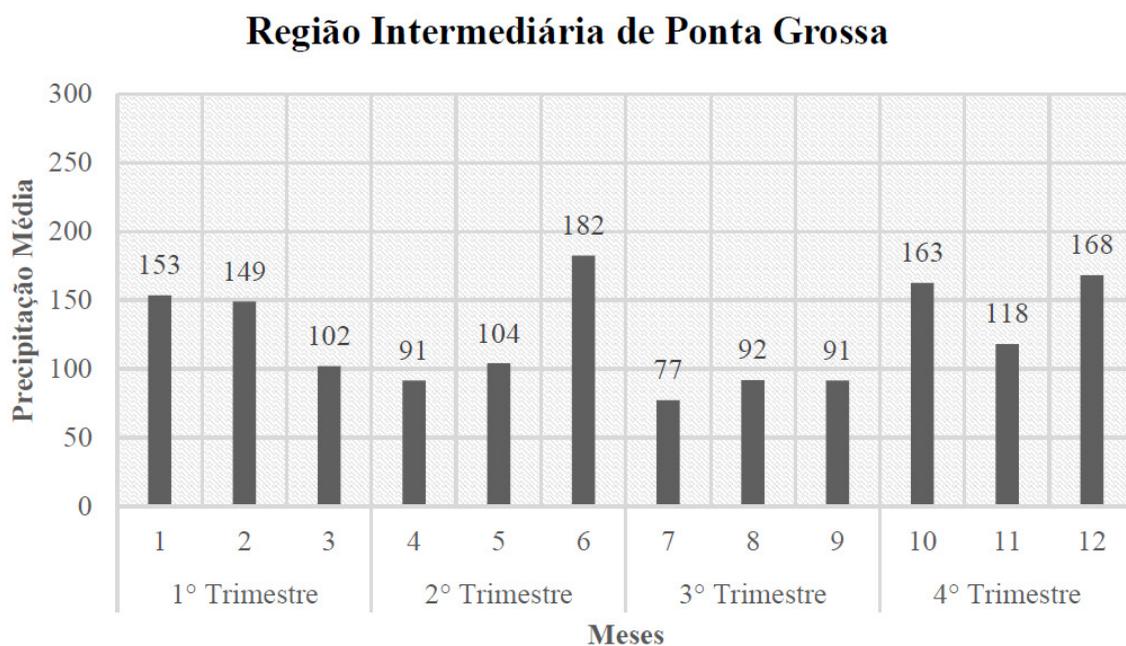
**ABSTRACT** – The rainfall in this study is based on the Rain Anomaly Index (RAI). In this context, the present study aims to analyze the IAC in the six different intermediate regions located in the State of Paraná, using monthly precipitation data from 27 automatic stations between 2011 to 2020 showing the quarterly rainfall characteristics of each region. With these data, it was possible to observe the general way that all regions “except Curitiba” were more dry than wet anomalies during these 10 years, Curitiba also presented the highest annual rainfall. It was also possible to see that in winter most of the extreme drought anomalies occur, having in the spring most of the extremely humid anomalies and that the year 2020 was the driest in the historical series, having as possible explanation the action of the La Niña phenomenon in the state.

**KEYWORDS:** Weather station, climatic changes, precipitation

APÊNDICE A – Precipitação média região intermediária de Cascavel

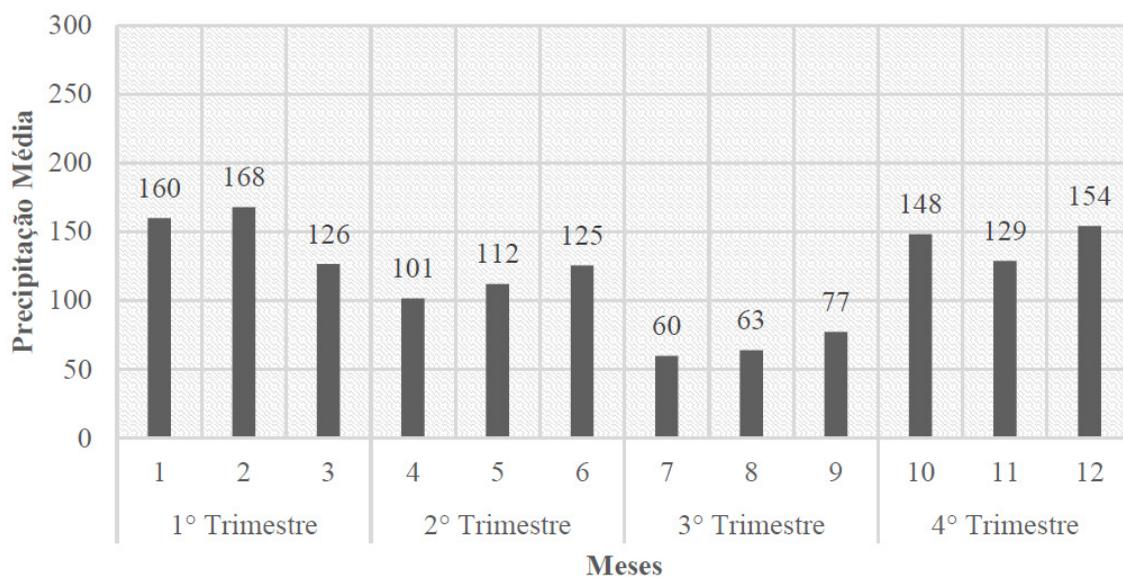


APÊNDICE B – Precipitação média região intermediária de Ponta Grossa

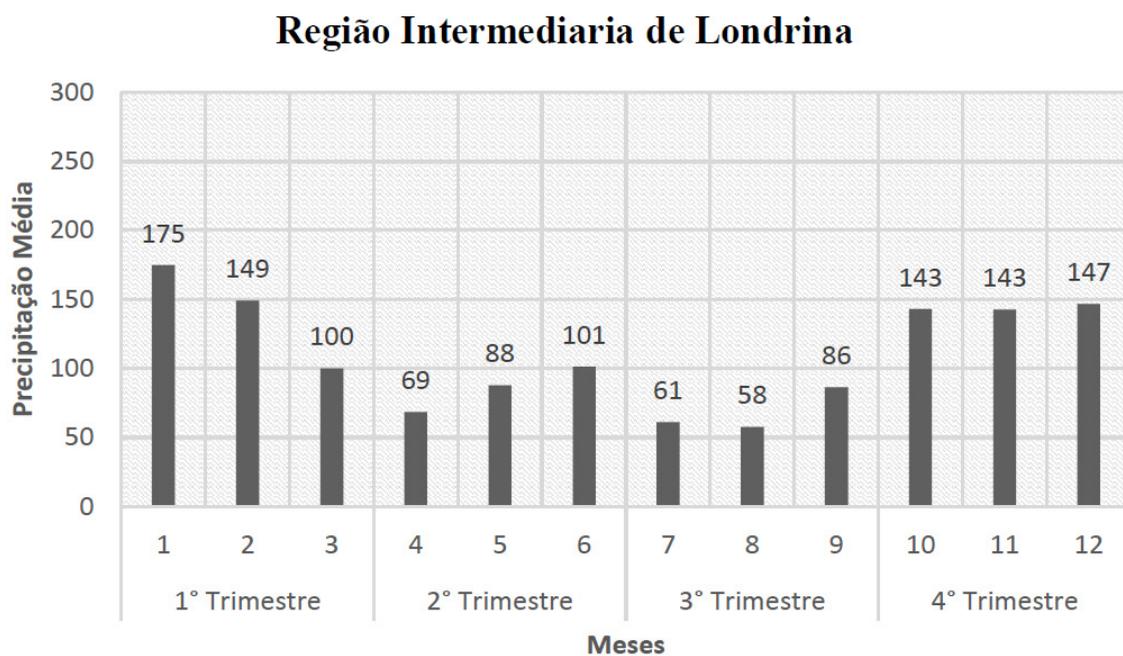


## APÊNDICE C – Precipitação média região intermediária de Maringá

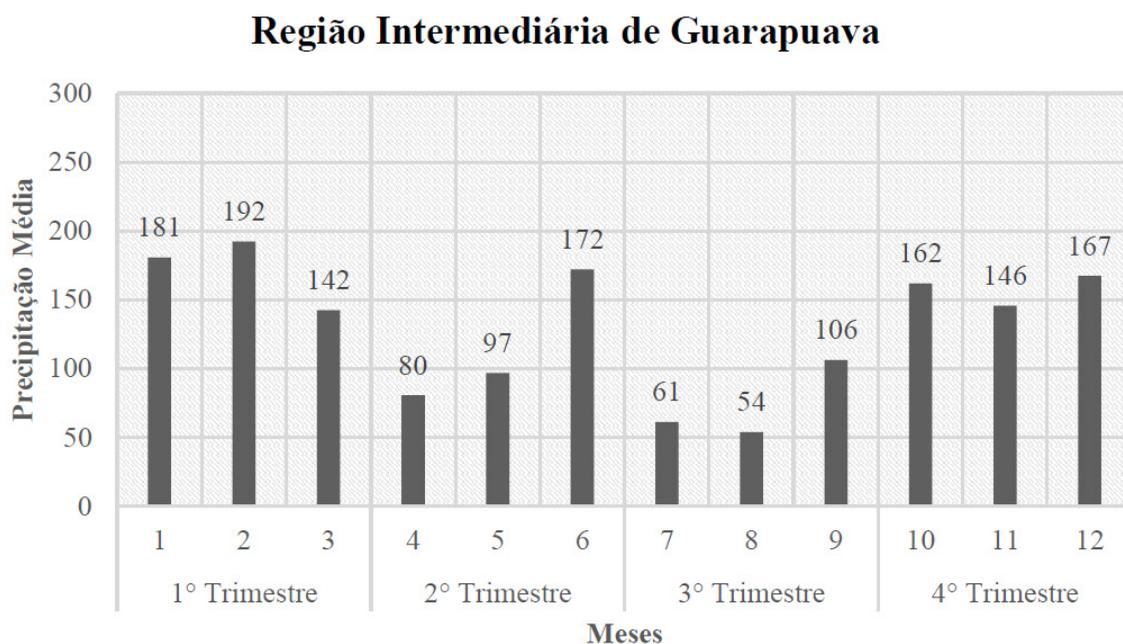
## Região Intermediária de Maringá



APÊNDICE D – Precipitação média região intermediária de Londrina

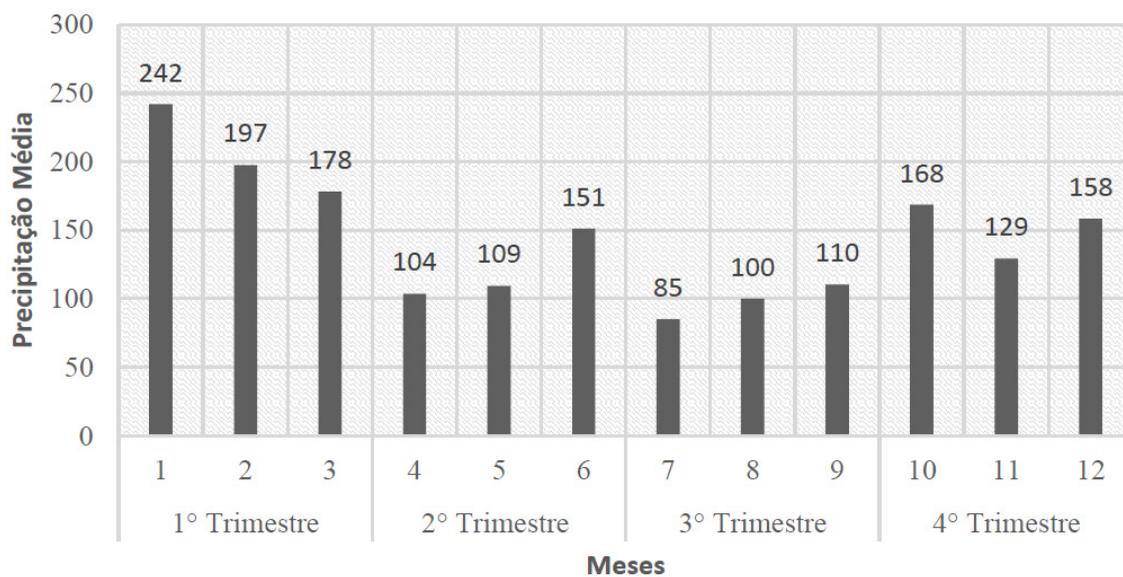


APÊNDICE E – Precipitação média região intermediária de Guarapuava



## APÊNDICE F – Precipitação média região intermediária de Curitiba

## Região Intermediária de Curitiba



## CAPÍTULO 3

# QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO COM VARIÁVEIS POLARIMÉTRICAS PARA A REGIÃO COBERTA PELO RADAR METEOROLÓGICO BANDA S DE MACEIÓ

**Isidro Metódio Tuleni Johaneshadua**

<http://lattes.cnpq.br/3640584165563066>

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG USP, São Paulo, São Paulo

**Carlos Frederico Angelis**

<http://lattes.cnpq.br/5139331351519474>

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, São José dos Campos, São Paulo

**RESUMO** – O objetivo principal é contribuir para estabelecer critérios inovadores de quantificação da precipitação para a região coberta pelo novo radar meteorológico Doppler dupla-polarização banda S. Utilizou-se medidas polarimétricas, disdrométricas e pluviométricas para o cálculo da distribuição de tamanho de gotas (DTGs), das taxas de chuva, das relações Z-R, KDP-R e ZDR-R para a classificação dos hidrometeoros e quantificação da chuva. O levantamento da relação KDP-R e calibração com taxa de chuva acumulada foi comprometido por não haver pluviosidade  $> 30 \text{ mm.h}^{-1}$  no período estudado. Os resultados obtidos com a polarimetria ZDR e calibração com taxas instantâneas, foram satisfatórios. A classificação dos hidrometeoros com medidas de superfície do disdrômetro, caracterizou a microfísica das

gotas que apresentou resultados condizentes das relações polarimétricas ZDR-R. Nas taxas de chuva  $> 2 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $< 6 \text{ mm.h}^{-1}$ , conferiu-se gotas com diâmetros  $> 1 \text{ mm}$ , totalizando 126 gotas, que variaram entre 0,187-1,375 mm de diâmetro, a maior frequência da DTGs ocorreu na classe de 0,427 mm de diâmetro com 79.785 gotas. Para taxa de chuva  $< 2 \text{ mm.h}^{-1}$  as gotas variaram entre 0,187-0,937 mm de diâmetro com 83.812 gotas, com maior frequência da DTGs na classe de 0,312 mm de diâmetro. As correlações polarimétricas ZDR-R apresentaram poucas dispersões do que as tradicionais Z-R que pressupõe boa estimativa na quantificação de chuva. As medidas do radar superestimaram as taxas instantânea dos pluviômetros em quase todo período, com viés máximo de 10,23 e mínimo de -0,14. A polarimetria ZDR estimou satisfatoriamente a taxa instantânea, com RMS de 1,00.

**PALAVRAS-CHAVE:** Leste do Nordeste do Brasil, disdrômetro Parsivel<sup>2</sup>, polarimetria ZDR e KDP.

## 1. INTRODUÇÃO

Inicialmente, radares meteorológicos provocaram muito interesse na comunidade hidrológica por sua capacidade única para

descrever a variação espacial e temporal da taxa de chuva. Tal característica é particularmente apreciada na gestão de água, mais especificamente em água que escoam em resposta rápida, hidrologia urbana, gestão de barragens em áreas montanhosas. O entusiasmo inicial foi mitigado quando se percebeu que a estimativa de chuva a partir de um radar clássico foi afetada por grandes incertezas que poderiam ser reduzidas através da média no espaço e no tempo, invalidando, assim, em grande medida a especificidade do instrumento (Seliga e Bringi, 1976). Com um radar clássico em cada intervalo de compartimento a taxa de precipitação  $R$  é derivado da refletividade  $Z$  do radar usando uma relação  $Z$ - $R$ . Sabe-se que  $Z$  não depende apenas de  $R$ , mas também das características da distribuição de tamanho das gotas (DTGs), e em particular do seu diâmetro médio que é um parâmetro sujeito a grande variabilidade. Em caso de chuva muito intensa, o sinal de radar é afetado por atenuação, o que irá reduzir consideravelmente o  $Z$  observado e, assim, a estimativa  $R$  (Seliga e Bringi, 1976).

Para superação dessas dificuldades, Sigla et al. (1981) usaram radares de dupla polarização que sondam o meio, em duas polarizações, a horizontal ( $H$ ) e vertical ( $V$ ). As gotas de chuva quando caem tomam uma forma oblata que se torna mais pronunciada à medida que aumenta o seu tamanho e à medida que precipita devido a força aerodinâmica. Radares de dupla polarização tiram vantagens deste efeito físico, que impacta tanto a propagação de uma onda radioelétrica de entrada e seu retroespalhado (Seliga et al., 1981). O efeito retroespalhado é explorado em radares meteorológicos band-S, uma vez que esta faixa de frequência é afetado pela atenuação ao longo da trajetória através da chuva. As gotas podem ser equiparadas esféricas achatadas nas bases, apresentando orientação preferencial no plano horizontal à medida que precipitam. Isso faz com que o eco que retorno ao radar proveniente das gotas grandes de chuva, seja maior na polarização  $H$ , do que a polarização  $V$ . Este efeito amplia com aumento dos tamanhos das gotas de chuva. A partir da razão das refletividades polares  $H$  e  $V$ , respectivamente (refletividade diferencial  $ZDR = ZH / ZV$ ), uma estimativa do diâmetro do volume médio  $D0$  pode ser derivado e a sua combinação com  $ZH$  permite conseguir uma melhor estimativa do taxa de chuva  $R$  que tem sido afetada pela variabilidade da distribuição do tamanho das gotas (Seliga et al., 1981).

## 1.1. OBJETIVOS

Em face ao exposto anteriormente, este trabalho tem como objetivo geral estabelecer critérios inovadores para a quantificação de precipitação através de variáveis polarimétricas  $KDP$  e  $ZDR$ , e compará-los com o método tradicional (relação  $Z$ - $R$ ) a partir de medidas do atual Sistema de Radar Meteorológico do Estado de Alagoas- SIRMAL (banda-S de dupla polarização) em substituição do antigo sistema convencional, e medidas de disdrômetro Parsivel<sup>2</sup> e pluviômetros automáticos. Como objetivos específicos, pretende-se:

- I. Classificar as gotas de chuva a partir de medidas polarimétricas e do disdrômetro Parsivel<sup>2</sup>;

- II. Gerar e analisar as relações polarimétricas KDP-R, ZDR-R e a relação tradicional Z-R;
- III. Calibrar e estimar a natureza da chuva do ponto de vista microfísico

## 1.2. REVISÃO DA LITERATURA

A questão mais preocupante relacionada às nuvens são os fenômenos adversos que afetam a segurança da população, podendo comprometer sua integridade física dos cidadãos, atividades e bens materiais (Duarte, 2012). Os responsáveis mais comuns para que tal grau de severidade seja atingido são grandes volumes de precipitação em um curto espaço de tempo, ou persistência de uma condição moderada várias horas ou até mesmo dias, podendo provocar inundações e deslizamentos de terra devido ao encharcamento do solo (Duarte, 2012). Em função disso, sendo que indispensáveis, não seriam mais que suficiente para proporcionar avanços na qualidade da estimativa da chuva com maior precisão e, analisar, interpretar e monitorar os eventos de precipitação com radar meteorológico SPOL, propondo assim o estudo detalhado da taxa de precipitação (R), da refletividade do radar (Z) e das variáveis polarimétricas ( $K_{DP}$  e  $Z_{DR}$ ). Os sistemas produtores de chuva e as características da precipitação no Leste do Nordeste sofrem a influência de sistemas meteorológicos os quais conferem características climáticas peculiares, sendo conhecida como uma região de alta variabilidade temporal e espacial no campo de precipitação, mais detalhes, ver em Ihadua (2016).

### 1.2.1. Formação de nuvens e precipitação

As mudanças de fase da água têm fundamental importância na microfísica de nuvens, das quais destacam-se a condensação, a solidificação e a sublimação, pois fazem parte dos processos de formação de nuvens (Rogers, 1979). Um dos problemas intrínsecos na microfísica de nuvens é que estas transições de fase não ocorrem em equilíbrio termodinâmico e necessitam romper tensões superficiais, mais detalhes, ver em Ihadua (2016).

Uma parcela de ar que ascende acima do nível de condensação por levantamento (NCL), as gotículas de solução maiores são ativadas. Quando a parcela ascende acima deste nível, a supersaturação aumenta e as gotículas menores da solução também podem ser ativadas. A ativação das gotículas cresce rapidamente, removendo a umidade do ar e diminuindo a tendência da supersaturação aumentando com o levantamento da parcela. Em algum ponto, muitas gotículas são ativadas e os dois efeitos são contrabalanceados: a supersaturação não aumenta e novas gotículas não são ativadas. Nesse ponto, uma nuvem é formada contendo um espectro inicial de gotículas (Rogers, 1979).

### 1.2.2. Precipitação estratiforme e convectiva

A extensão, a intensidade e o tempo de vida dos sistemas precipitantes estão sempre associados aos movimentos verticais do ar, e costuma-se classificar o tipo de precipitação de

acordo com o mecanismo dominante responsável por tais movimentos. A precipitação do tipo convectiva está geralmente associada a sistemas com chuva intensa, localizada e embebida em ar instável. O tipo estratiforme caracteriza-se por chuva contínua associada com ascensão de larga escala produzida por levantamento frontal ou topográfico (Rogers, 1979). Os dois tipos apresentam diferenças microfísicas que podem ser oriundas da magnitude dos movimentos verticais dentro das nuvens e da escala de tempo dos processos microfísicos formadores da precipitação. A precipitação estratiforme existe quando a velocidade vertical do vento ( $w$ ) é muito menor do que a velocidade terminal ( $v_t$ ) das partículas de neve (Houghton, 1968). Nestas condições as partículas de gelo nas regiões mais altas da nuvem devem precipitar, pois não podem ser sustentadas ou carregadas para cima pelos movimentos verticais para que possam crescer. Nos processos convectivos os movimentos verticais ( $w$ ) são maiores ou iguais às velocidades terminais dos cristais de gelo, mais detalhes, ver em Ihadua (2016).

### 1.2.3. Intensidade da chuva (R)

O tamanho da gota está relacionado com a intensidade da chuva e com a velocidade terminal das gotas. A intensidade da chuva é o fluxo de precipitação pluvial através de uma superfície horizontal e é expressa em termos do volume de fluxo de água (Moraes, 2003). Horsmtmeyer (2008) classificou os diâmetros do tamanho da gota de chuva conforme suas intensidades de eventos de chuva, Tab. 1, podendo ser concluído que as menores gotas são comuns em chuvas fracas, e os maiores gotas ocorrem em chuvas tipo tempestade, mais detalhes, ver em Ihadua (2016).

**Tabela 1** – Diâmetros típicos de gotas com diferentes intensidades de chuva.

Tamanhos de gota típicos	
Tipo de Chuva	Diâmetro (mm)
<b>Chuva fraca</b>	
Gotas menores	0.5
Gotas maiores	2.0
<b>Chuva Moderada</b>	
Gotas menores	1.0
Gotas maiores	2.6
<b>Chuva forte (tempestade)</b>	
Gotas menores	1.2
Gotas maiores	4.0
A maior gota possível	5.0
<b>Granizo</b>	
	10
	40

Fonte: Adaptado de Horsmtmeyer (2008).

As descrições das vantagens e desvantagens da relação Z-R, relação  $Z_{DR}$ -R e relação  $K_{DP}$ -R, e a descrição da variação da DTGs, estão detalhados em Ihadua (2016).

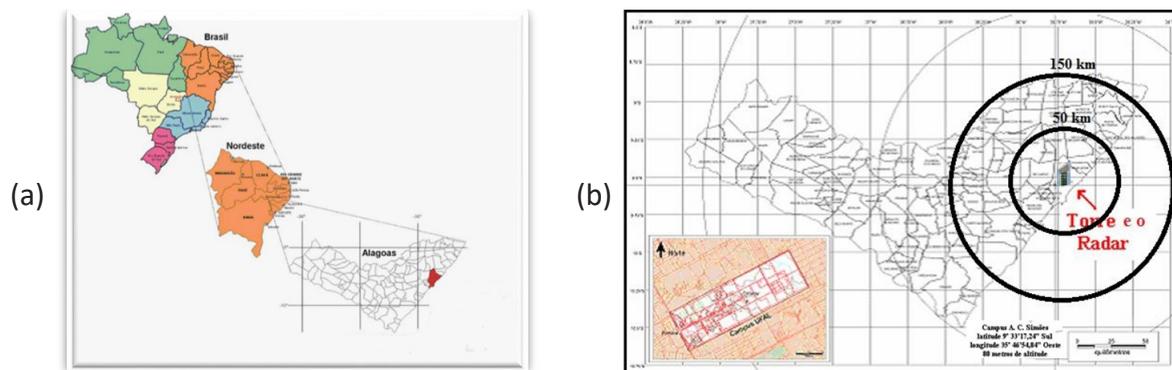
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

A Costa Leste do nordeste do Brasil (NEB), engloba a parte oriental dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e o centro-leste de Sergipe e Alagoas, e a parte sul a Bahia. Os Estados que pertencem ao o leste do nordeste, o da Paraíba apresenta a menor faixa litorânea, com 117 km (Figura 1) e o estado de Alagoas apresenta um litoral com 229 km de extensão (Da Silva, 2002). No Nordeste, o clima predominante é do tipo tropical quente e úmido ao longo da zona costeira, tornando-se seco nas regiões do interior. O tempo é geralmente seco, durante o verão, e chuvoso no inverno com chuvas mais abundantes na faixa costeira.

Este estudo foi desenvolvido em Maceió, no Campus A. C. Simões, da Universidade federal de Alagoas, na área experimental do SIRMAL pertencente ao Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais-CEMADEN, em um raio de de abrangência de 50 km na primeira fase e, em outro raio de 150 km na segunda fase e usou-se um (1) PPI no ângulo de elevação  $1.5^\circ$  para ambas as fases (Figura 1).

**Figura 1** – (a) Mapa geográfico brasileiro, localização do Nordeste e do estado de Alagoas e da cidade de Maceió. (b) Estado de Alagoas, radar meteorológico do CEMADEN no Campus A. C. Simões, raios de alcance do radar (círculos preto).



Fonte: Moraes et al. (2004).

Os dados usados estão divididos em duas fases. Na primeira fase utilizou-se os dados do disdrômetro e do radar, com os quais calculou-se a relação polarimétrica  $Z_{DR}$ -R e a relação tradicional Z-R. Na segunda fase, a de calibração, usou-se os dados dos pluviômetros para além dos dados do disdrômetro e do radar. A Tabela 2 apresenta a lista dos 5 eventos de chuva com 493 minutos de medida do radar analisados na primeira fase de estudo, num raio de 50 km. Dos 493 minutos de medidas, apenas 20 amostras (1 minuto para cada amostra) foram consistentes com as medidas do disdrômetro  $> 30.000$  gotas de chuva envolvidas no estudo. A

seleção das amostras foram dependentes da disponibilidade dos dados do radar, que foram limitadas. Um evento de chuva refere-se ao início da precipitação até ao final. Os 5 eventos estudados tiveram origem estratiforme.

**Tabela 2** – Eventos de chuva selecionados a partir dos dados do disdrômetro para os 2 meses de estudo (Julho e Agosto) do ano 2015 para geração das relações polarimétricas ( $K_{DP}$ -R e  $Z_{DR}$ -R) e relação tradicional Z-R.

Evento de chuva	Data do evento	Hora Local	Números de amostras	Máximo de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ )
1	22/07/2015	1436-1440	35	7,24
2	23/07/2015	0913-0114	222	23,15
3	01/08/2015	0312-2216	66	15,99
4	20/08/2015	0040-2359	131	27,52
5	21/08/2015	0010-2120	39	7,93

A Tabela 3 expõe os valores acumulados a cada 10 minutos selecionados das medidas dos pluviômetros, totalizando 400 minutos de dados para a calibração da taxa de chuva calculada pelas relações polarimétricas. Devido a inconsistência dos dados (tanto do radar como dos pluviômetros), impossibilitou no cálculo de acumulado de 24 horas. Juntou-se os dados dos pluviômetros automáticos dos três locais e considerou-se como um todo que coincidem com as medidas do radar. Assim, calculou-se as relações polarimétricas  $Z_{DR}$ -R e relações convencionais Z-R, tanto para a calibração com as medidas instantâneas.

**Tabela 3** – Volume pluviométrico acumulado a cada 10 minutos selecionados dos dados dos pluviômetros de 2 meses (Outubro e Novembro) de 2015 para a calibração da taxa de chuva.

Locais	Coordenadas Geográficas		Dados acumulados a cada 10 minutos	Distância (km) em relação ao radar
	Latitude	Longitude		
Branquinha	-9.248	-36.014	130	43
Quebrangulo	-9.318	-36.471	170	81
Santana do Mandaú	-9.170	-36.217	100	65

## 2.2. DISDRÔMETRO OTT PARSIVEL2 E RADAR SPOL

Os dados utilizados nas análises, foram medidos pelo disdrômetro óptico a laser, OTT Parsivel<sup>2</sup>, desenvolvido para medição abrangente de todos os tipos de precipitação que foi

instalado na área experimental do SIRMAL, a 80 metros do nível médio do mar (Figura 2a), bem como os dados do radar meteorológico SPOL (Figura 2b), pertencente ao CEMADEN e dados de pluviômetros automáticos. O SPOL é constituído por subsistemas: antena, refletor, mecanismo de mudança de polarização, guia de onda, transmissor, modulador, relógio mestre, processador de sinal, receptor e display. Mais detalhes das características técnicas dos pluviômetros, do SPOL e a definição das variáveis polarimétricas, ver em Ihadua (2016).

**Figura 2** – (a) Disdrômetro OTT Parsivel2 localizado na área externa do sistema de radar meteorológico de Alagoas. (b) Conjunto pedestal, refletor e antena (com a proteção de uma cúpula) do radar S-POL SIRMAL do CEMADEN. Estrutura metálica (dentro da cúpula) contém os transmissor, receptor e demais subsistemas.



O disdrômetro mede o tamanho e a velocidade de queda de todos os tipos de hidrometeoros sobre um feixe de laser e um processador de sinal que classifica o tipo de precipitação, bem como, a quantidade e intensidade. A faixa de medição dos tamanhos de gotas em precipitação líquida varia de 0,2 a 5 mm. Para partículas precipitantes na forma sólida, seus diâmetros variam de 0,2 a 25 mm (Tayob, 2014). As velocidades das gotas de chuva variam de 0,2 a 20 m.s<sup>-1</sup>. O sensor Parsivel detecta 8 tipos de hidrometeoros, nomeadamente, garoa, mistura de garoa, mistura de garoa/chuva, chuva, mistura de chuva/neve, neve, grãos de neve, chuva congelada e granizo. Mais detalhes sobre princípio de funcionamento do disdrômetro, ver em Ihadua, (2016).

A DTGs foi calculada através do diâmetro (D) equivalente ao volume e da velocidade (V) dos hidrometeoros em função da subdivisão apropriada da classe média das partículas, em que existem 32 classes (D e V diferentes), em uma matriz de 32x32 de modo que há um total de 1024 classes. A escala de intervalo dessa classificação é de menores hidrometeoros, mais lentos do que para hidrometeoros grandes que são mais rápidos.

## 2.3. TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS

O radar meteorológico mede a chuva de maneira indireta, através da estimativa da energia eletromagnética de microondas a ele retornada, refletida pela chuva, representada pelo fator de refletividade do radar, que depende da distribuição das gotas de chuva dentro do volume amostrado pelo radar. Essa mesma distribuição de gotas, também é medida pelo disdrômetro na superfície, de modo que as medidas da mesma grandeza na precipitação, efetuadas pelos dois equipamentos, foram comparadas.

Os dados do disdrômetro analisados foram usados para o cálculo da DTGs com programa Software IDL. Foram criteriosamente analisados, por forma a evitar a presença de registros de valores impróprios a esse tipo de series.

Para os dados do radar em formato VOL (Rainbow), na primeira fase gerou-se imagens de chuva num raio de 50 km, e na segunda fase as imagens geradas, foram num raio de 150 km, ambas as fases no PPIs do ângulo de elevação 1.5°. Os campos gerados foram de  $Z$ ,  $Z_{DR}$  e  $K_{DP}$  por meio do Software Rainbow<sup>®5</sup> que foram convertidos em dados (valores médios) através da integração de 5 pontos mais próximos da coordenada dos pluviômetros e do disdrômetro, utilizando a linguagem de programação Fortran.

Para determinar a expressão que relaciona o refletividade  $Z$  do radar à intensidade da precipitação do disdrômetro, foram considerados valores de intensidade de precipitação  $0,1\text{mm h}^{-1} \leq R \leq 80\text{ mm h}^{-1}$  e de refletividade  $9,8 \leq Z \leq 35\text{ dbz}$ .

## 2.4. PRODUTOS HIDROLÓGICOS

### 2.4.1. Estimativa da taxa de precipitação com a metodologia do manual do software rainbow

As medidas polarimétricas foram usadas para cálculo de precipitação automaticamente, dependendo do comprimento de onda do radar, sendo para os radares banda S que foi usado neste trabalho através do algoritmo de Ryzhkov et al. (2005):

$$R = \frac{R(K_{dp})}{0.4 + 5.0 |Z_{dr} - 1|^{1.3}} \quad \text{para } R(Z) < 6\text{mm.h}^{-1} \quad (1)$$

$$R = \frac{R(K_{dp})}{0.4 + 3.5 |Z_{dr} - 1|^{1.7}} \quad \text{para } 6 < R(Z) < 50\text{mm.h}^{-1} \quad (2)$$

$$R = R(K_{dp}) \quad \text{para } R(Z) > 50\text{mm.h}^{-1} \quad (3)$$

Porém, durante o período estudado houve registro de precipitação  $> 30\text{ mm h}^{-1}$  e limitou-se no uso dos parâmetros das Equações 1 e 2.

### 2.4.2. Calibração da taxa de chuva gerada pela relação polarimétrica ZDR-R com os dados dos pluviômetros

A partir dos dados analisados, os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  da relação polarimétrica  $Z_{DR}$ -R obtida da Eq. 4, foi gerada taxa de chuva instantânea estimada e comparada com os valores da taxa de chuva instantâneas dos pluviômetros através da Eq. 5.

Sendo que,

$$Z_{DR} = aR^b \quad (4)$$

Então,

$$R(mm.h^{-1}) = \frac{Z_{DR}^{\frac{1}{b}}}{a} \quad (5)$$

$a = 0.4111$ ,  $b = 0.1972$  são os parâmetros da relação polarimétrica  $Z_{DR}$ -R da definição do produto gerado.

### 2.4.3. Conversão dos volumes pluviométricos em taxa de chuva instantânea para a comparação com a taxa de chuva gerada pelo radar

Os dados de chuva dos pluviômetros estão registrados a cada 10 minutos em volume pluviométricos, dada pela Eq. 6 convertido em taxa de chuva instantânea em milímetros por hora.

$$R(mm.h^{-1}) = \frac{\psi}{t} \quad (6)$$

Onde,

R é a taxa de chuva (mm.h-1)

$\psi$  é o valor acumulado da chuva (mm) a cada 10 minutos do pluviômetro.

t é o tempo correspondente a 10 minutos, ou seja, 0,166 horas.

### 2.4.4. Cálculo da raiz quadrática média (RMS)

Para se verificar a boa calibração utilizou-se a Eq. 7 que é a raiz quadrada da somatório dos quadrados dos valores das taxas de chuva do radar e dos pluviômetros.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_{radar}^2 - R_{pluviometro}^2)} \quad (7)$$

Onde,

$N$  - Número do total de valores somados

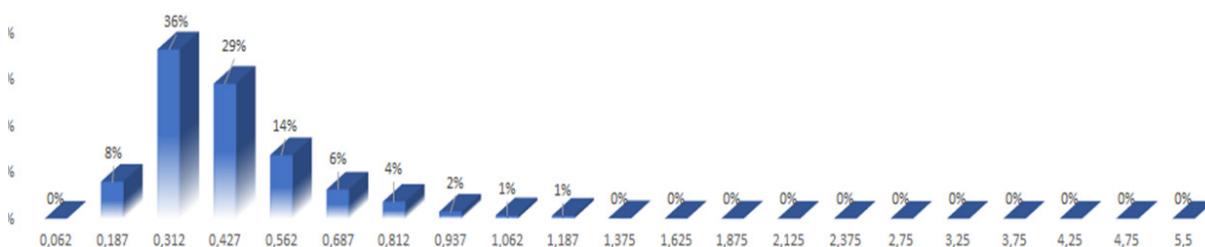
$R$  - Taxa de chuva ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) do radar SPOL e do pluviômetro automático.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DAS GOTAS (DTGS)

A Fig. 3 apresenta a DTGs obtidas pelo disdrômetro Parsivel durante todo período de estudo. Observa-se que há maior número de gotas concentrado nas classes médias de 0,312 e 0,427 mm com 36% e 29%, respectivamente (Fig. 5). As gotas com diâmetros superior a 1 mm representou somente 1% nas classes 1,062 e 1,187 mm, totalizando 2% de concentração. Portanto, conclui-se que durante o período de estudo houve ocorrência de chuva fraca e moderada proveniente de nuvens quentes, em que as gotas de chuva são, geralmente, de diâmetros menores que dificilmente atingiram 2 mm de diâmetro.

**Figura 3** – Distribuição de tamanho de gotas (DTGs) de medidas do disdrômetro Parsivel do SIRMAL durante os meses de Julho e Agosto, período de estudo.



Os diâmetros das gotas além de variarem em função do ambiente, marinho ou continental, em que a nuvem se encontra, variam também segundo o tipo de nuvem que as concentra, nuvem quente ou nuvem fria. As nuvens marinhas são constituídas de gotas com diâmetros maiores do que as gotas que constituem as nuvens em ambiente continental devido ao conteúdo de núcleos das duas massas de ar envolvidas (Belculfiné, 1977).

Em nuvens quentes em ambiente continental, as gotas de chuva são, geralmente, de diâmetros menores do que as encontradas em nuvens frias. As gotas de chuva existentes nas nuvens quentes dificilmente passam de 2 mm de diâmetro. Esse facto pode ser explicado pela combinação do processo de Bergeron mais colisão-coalescência (em nuvens frias) que produzem gotas maiores do que o processo de colisão-coalescência sozinho em nuvens quentes (Belculfiné, 1977).

### 3.2. RELAÇÕES Z-R E RELAÇÕES POLAROMÉTRICAS ZDR-R

As investigações mostraram que as observações de radar multiparâmetro banda S, pode ser utilizado para obter os parâmetros de DTGs e, assim, estimar a taxa de precipitação (Seliga e Bringi, 1976; Bringi et al., 2002; Brandes e al., 2003). No entanto, as técnicas de estimativas baseadas em  $K_{DP}$  fornece as estimativas mais precisas de taxas de chuva elevadas ( $R > 50 \text{ mm h}^{-1}$ ), enquanto que para taxas de chuva moderadas e baixas, as medições de precipitação é possível através de faixas médias e combinadas com outro parâmetro de medição do radar, baseada em  $Z_{DR}$ .

As incertezas de um estimador de taxa de precipitação por radar são resultado de três causas: erro instrumental, o mais conhecido sendo o erro de calibração do radar; erro estatístico, em relação às posições aleatórias e velocidades das gotas de chuva no interior do volume de dispersão (Doviak e Zrnica, 1984); erro físico relacionado com o “físico” ‘variabilidade’ da DTG (Ulbrich, 1983).

Na técnica clássica (Z-R), a incerteza estatística do estimador é moderada, mas é maior o impacto do estimador da variabilidade física das características médias da DTGs e no erro de calibração de radar. Por outro lado, na técnica de diversidade de polarização ( $K_{DP}$ -R e  $Z_{DR}$ -R), as incertezas físicas são reduzidos e a sensibilidade ao erro de calibração de radar é suprimida (para a técnica de  $K_{DP}$ ), mas é maior a incerteza estatística. Isso leva a ideia de um algoritmo “combinado”, o que acumula as vantagens da técnica clássica (incerteza estatística moderada) e a técnica polarimétrica (sensibilidade reduzida para a variabilidade da DTGs).

Infelizmente não houve taxas de chuva elevadas ( $> 30 \text{ mm h}^{-1}$ ) durante todo período de estudado. Por isso, descartou-se a técnica de estimativa baseada em  $K_{DP}$ . Contudo, utilizou-se a técnica de estimativa baseada em  $Z_{DR}$ . Para melhor análise dos dados, utilizou-se a técnica de interpolação (agregação linear).

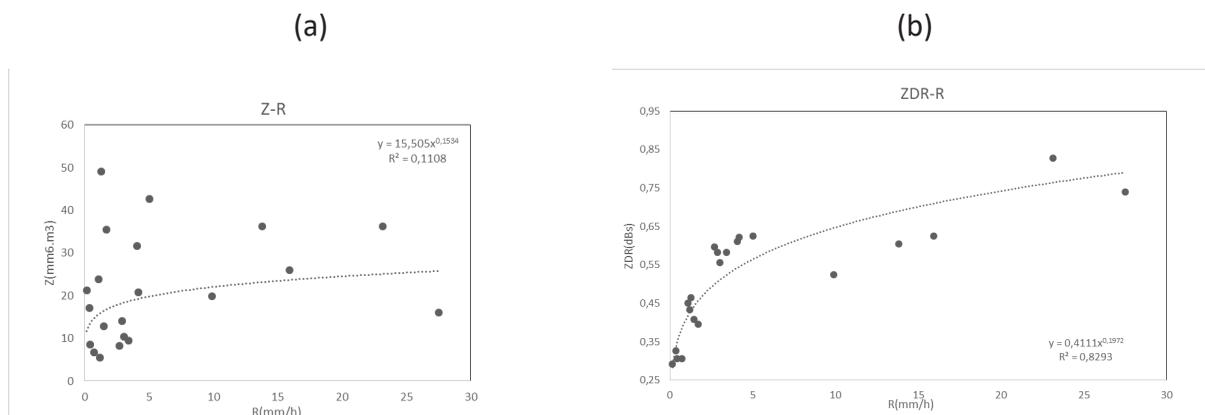
A Figuras 4 mostra a dispersão da refletividade Z ( $\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$ ) e refletividade diferencial  $Z_{DR}$  (dBs) versus taxa de chuva R ( $\text{mm.h}^{-1}$ ). O conteúdo da refletividade diferencial ( $Z_{DR}$ ) e a taxa de precipitação (R) em função da DTGs, relacionou-se estas grandezas com as medidas feitas pelo radar SPOL. Verifica-se maior dispersão na relação Z-R (técnica tradicional), em que os coeficientes foram  $a = 15,505$  e  $b = 0.1534$ , com  $R^2 = 0.1108$  para taxa de chuva  $< 10 \text{ mm h}^{-1}$  e menor dispersão para taxa de chuva  $> 10 \text{ mm h}^{-1}$  (Fig. 4a).

Nota-se menor dispersão na relação  $Z_{DR}$ -R (técnica polarimétrica), com coeficientes  $a = 0.4111$  e  $b = 0.1972$ , com  $R^2 = 0.8293$  para taxa de chuva menor  $< 10 \text{ mm h}^{-1}$  e maior dispersão para taxa de chuva  $> 10 \text{ mm h}^{-1}$  (Fig. 4b). Mas, quando comparada a dispersão da relação  $Z_{DR}$ -R e relação Z-R para taxa de chuva  $> 10 \text{ mm h}^{-1}$ , observa-se que a dispersão é maior na relação tradicional Z-R do que na relação polarimétrica  $Z_{DR}$ -R.

Durante todo período ocorreu chuva de pouca intensidade (nuvens quentes). A relação  $Z_{DR}$ -R, para além de quantificar a intensidade, revela também as características microfísica das gotas de chuva, com valores que variam entre 0,28 e 0,83 dB (Fig. 4a) equivalentes a gotas com

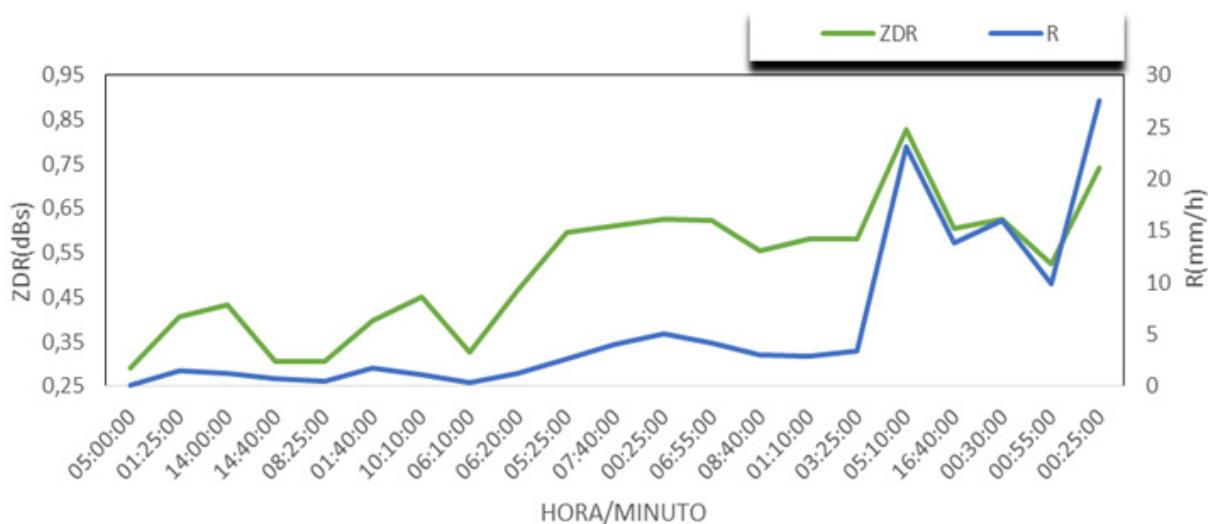
diâmetros entre 1 a 2.6 mm de chuva moderada (Tab. 1) que está dentro do intervalo da DTGs (Fig. 3), característicos de nuvens quentes. Nota-se uma divisão nas taxas de chuva entre 0 a 2 mm h<sup>-1</sup>, entre 2 a 6 mm h<sup>-1</sup> e entre 6 a 30 mm h<sup>-1</sup> (Figura 4b).

**Figura 4** –(a) Relação Z-R versus taxa de chuva R (mm.h<sup>-1</sup>) e (b) Relação Z<sub>DR</sub> versus taxa de chuva R (mm.h<sup>-1</sup>) do período estudado



Observa-se na Figura 5 em que o Z<sub>DR</sub> (linha verde) representou bem a taxa de chuva R (linha azul), valores (dB) equivalentes a gotas maiores corresponderam a taxas de chuva maiores e valores (dB) equivalentes a gotas menores para taxas de chuva menores. Verifica-se que o Z<sub>DR</sub> apresentou o mesmo padrão de comportamento da taxa de chuva em todo período.

**Figura 5** – Variação temporal do Z<sub>DR</sub> e da taxa de chuva do período estudado

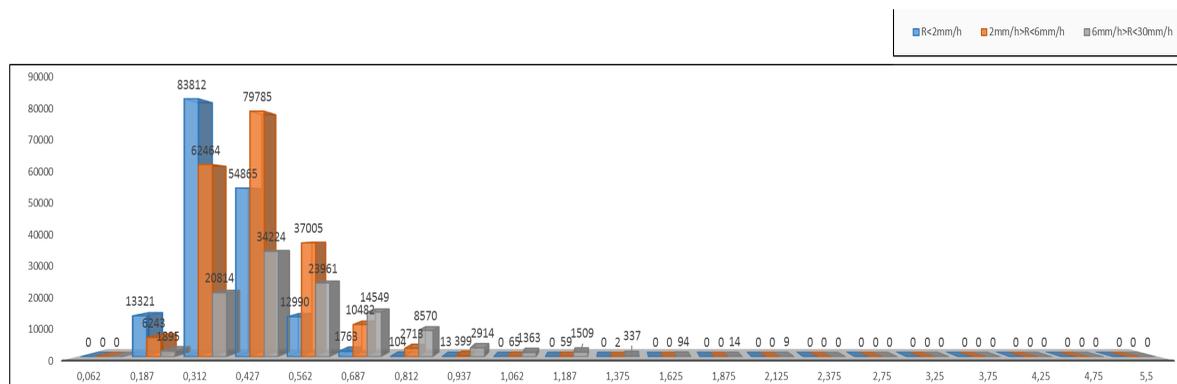


### 3.3. DTGS PARA AS TAXA DE CHUVA <2 MM.H-1, TAXA DE CHUVA ENTRE 2 A 6 MM H-1 E TAXA DE CHUVA ENTRE 6 A 30 MM H-1

Para uma discussão mais ampla das concentrações da DTGs calculadas em função do espectros de gotas medidos, fez-se a comparação dos três conjuntos de taxas de chuva distintas (cor azul para taxa de chuva <2 mm h<sup>-1</sup>, cor laranja para taxa de chuva entre 2 e 6 mm h<sup>-1</sup> e taxa de chuva entre 6 e 30 mm h<sup>-1</sup>), Figura 6.

A distribuição de maiores frequências de concentração das gotas estão ordenadas em classes diferentes. Para taxa de chuva <2 mm h<sup>-1</sup>, a classe com maior concentração foi de 0,312 mm de diâmetro com 83.812 gotas; para taxas de chuvas entre 2 e 6 mm h<sup>-1</sup>, a concentração maior foi na classe 0,427 mm de diâmetro, com concentração de 79.785 gotas. Diferentemente das outras, para taxa de chuva entre 6 e 30 mm h<sup>-1</sup>, registou a maior concentração de 34.224 gotas na classe 0,562 mm de diâmetro (Figura 6).

**Figura 6** – Comparação das Concentrações da DTGs calculadas em função dos espectros de gotas medidos via disdrômetro para os três conjuntos de taxas distintas de chuva. Cor azul para taxa de chuva <2 mm.h<sup>-1</sup>, cor laranja para taxa de chuva entre 2 e 6 mm.h<sup>-1</sup> e taxa de chuva entre 6 e 30 mm.h<sup>-1</sup>



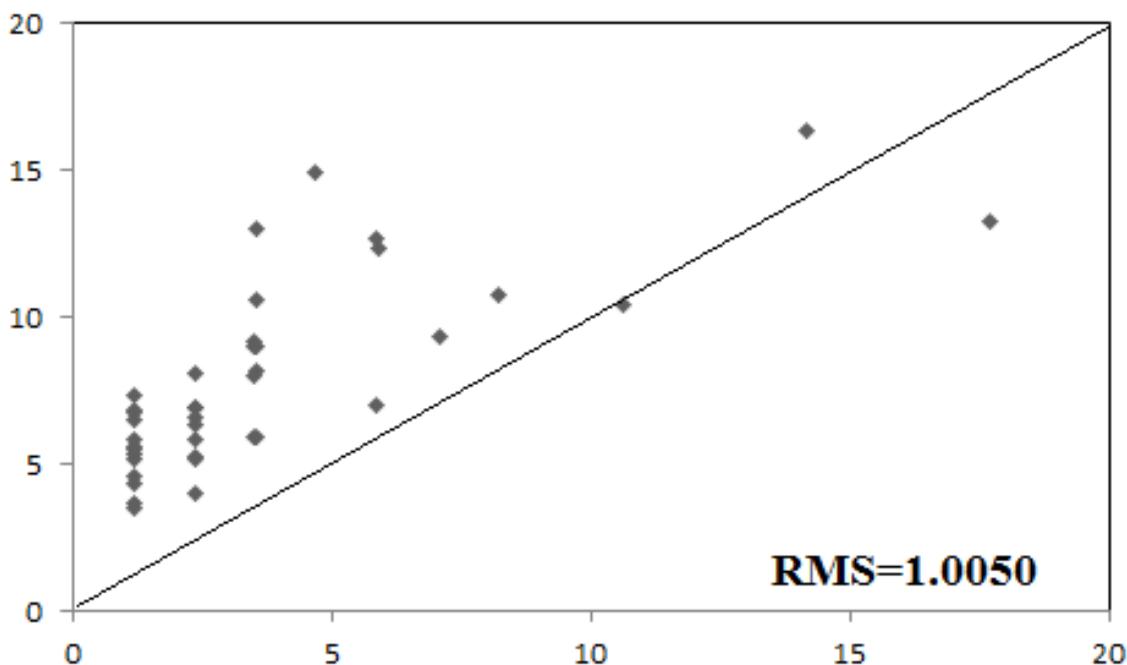
À vista disso, as taxas de chuvas entre 6 e 30 mm h<sup>-1</sup> têm concentrações de gotas nas maiores classes, até 2.125 mm de diâmetro que foi a única e exclusiva taxas de chuva, onde há gotas na classe 2.125 mm, com total de 9 gotas (Figura 6). Observa-se também que nessas taxas de chuva, há maior números de gotas nas classes 1,062 a 1,875 mm de diâmetro, com total de 3.312 gotas, em quanto que para taxa de chuva entre 2 e 6 mm h<sup>-1</sup>, o total são de 126 gotas. Entretanto, para taxa de chuva <2 mm h<sup>-1</sup> não se verifica concentrações de gotas nas classes >1.062 mm diâmetro, que limitou-se apenas na classe 0.937 mm de diâmetro, com total de 13 gotas.

### 3.4. CALIBRAÇÃO DA TAXA INSTANTÂNEA DE CHUVA GERADA PELO ALGORITMO ZDR-R COM AS TAXAS DE CHUVA INSTANTÂNEAS DOS PLUVIÔMETROS

O ano de 2015 ocorreu o episódio do El Niño forte que, na maioria da vezes, influiu no declínio da chuva na estação chuvosa no Nordeste brasileiro, por consequência da diminuição da precipitação, os dados do radar foram inconsistentes e insuficientes, que impossibilitou no cálculo do acumulado de 24 horas para se verificar a eficácia da calibração, sendo que, o acúmulo de 24 horas (o mais aceite) se obteria resultados significativos na estimativa de chuva.

Contudo, optou-se por se usar os medidas instantâneas (a cada 10 minutos). A Fig. 6 dispõe a dispersão das estimativas de taxas instantâneas de chuva calculadas com a polarimetria do radar e taxas instantâneas observadas dos pluviômetros. Durante quase todo período o radar superestimou a taxa de chuva, onde dois casos foram exceções, em que o radar subestimou a taxa de chuva. No entanto, apresentou grau de dispersão considerável, se verificou boa estimativa através do parâmetro polarimétrico  $Z_{DR}$ -R, através da raiz média quadrática (RMS) que foi de 1.0050.

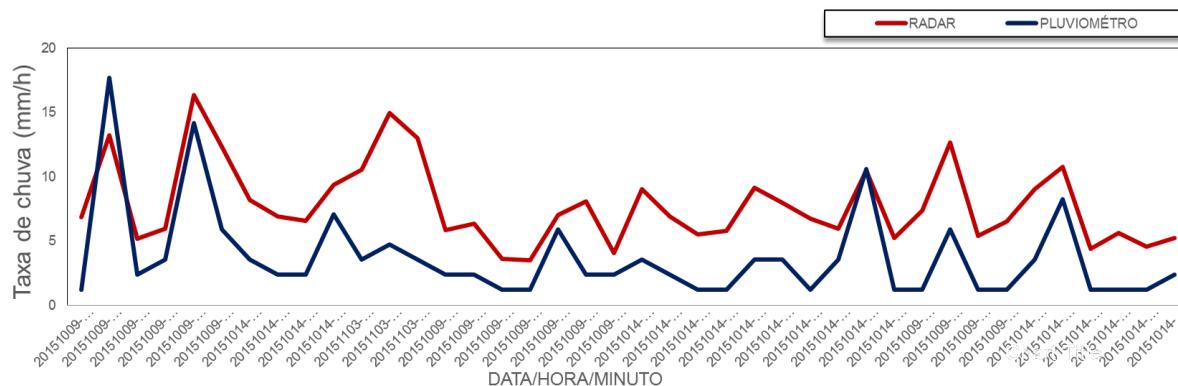
**Figura 7** – Quarenta minutos de calibração das taxas instantâneas de chuva estimada (do algoritmo polarimétrico ZDR) versus taxas instantâneas de chuva observadas dos pluviômetros.



Para uma percepção mais clara do que se descreveu na Figura 7, sobre a eficácia do algoritmo polarimétrico  $Z_{DR}$ -R na estimativa de chuva instantânea e a natureza das gotas de chuva, observa-se na Fig. 7 as variações temporais das taxas de chuva instantâneas do radar

e dos pluviômetros. Não obstante o radar ter superestimado em quase todo período, nota-se um padrão com mesmo comportamento em todo período.

**Figura 8** – Comparação da variação temporal da taxa instantânea de chuva do algoritmo polarimétrico  $Z_{DR}$  (linha vermelha) com a taxa instantânea de chuva dos pluviômetros (linha azul).



A supertimativa (Fig. 8) e dispersão maior (fig. 7), justifica-se por se fazer comparações com medidas de taxas instantâneas de chuva. Pois, se com medidas instantâneas há uma eficácia na estimativa da chuva, com os dados acumulados de 24 horas melhoraria a estimativa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho proposto para um desenho a partir de duas técnicas polarimétricas para estimativa baseadas em  $K_{DP}$  que forneceria estimativas mais precisas de taxas elevadas de chuva  $> 50 \text{ mm h}^{-1}$  e para taxas de chuva moderadas e baixas, as medições de precipitação foram possíveis através do parâmetro polarimétrico  $Z_{DR}$ . As duas técnicas juntas ( $Z_{DR}$  e  $K_{DP}$ ) seriam de bom aproveitamento para a análise da classificação das gotas de chuva. Porém, por não ocorrer taxa de chuva  $> 50 \text{ mm h}^{-1}$  e falta de medidas consistentes do SPOL e dos pluviômetros devido ao episódio do El Niño forte, não se alcançou alguns objetivos, que são: estimar a natureza microfísica das gotas de chuva e intensidade da taxa de chuva  $> 50 \text{ mm h}^{-1}$  e calibrar a taxa de chuva com acumulado de 24 horas.

No entanto, não comprometeu a finalização do trabalho porque os resultados obtidos com a estimativa polarimétrica  $Z_{DR}$  e calibração com taxas instantâneas de chuva, foram de expressiva relevância científica.

- A classificação das características microfísicas das gotas de chuva apresentou resultados bem condizente com o que se observou nas relações polarimétricas  $Z_{DR}$ -R e da DTGs nas taxas de chuva  $< 2 \text{ mm h}^{-1}$ , taxa de chuva entre 2 e  $6 \text{ mm h}^{-1}$  e entre 6 e  $30 \text{ mm h}^{-1}$  proveniente do tipo de nuvens quentes de origem do sistema de mesoescala (brisas marinhas e terrestres e Ventos Alísios).

- As relações  $Z_{DR}$ -R apresentaram poucas dispersões e as relações tradicionais Z-R apresentaram dispersões maiores.
- A polarimetria  $Z_{DR}$  (relação  $Z_{DR}$ -R) estimou com relevância a taxa instantânea, com RMS de 1.0050.
- O radar superestimou a taxa instantânea em quase todo período com viés máximo de 10.2357 e mínimo de -0.1465.

As sugestões para os próximos passos é a obtenção de dados de chuva  $> 50 \text{ mm h}^{-1}$  e consistentes para a estimativa de chuva com a polarimetria  $K_{DP}$ -R de forma a proporcionar bons estudos do comportamento microfísico das nuvens e estimar com acumulado de 24 horas de taxas de chuva.

## REFERÊNCIAS

- BELCULFINE, U.: **Física das nuvens**. 2ª Edição. 1977. CTA. IAE. São José dos Campos-SP.
- BRANDES, E. A. et al.: **An evaluation of a drop distribution based polarimetric radar rainfall estimator**. 2003. J. Appl. Meteor., 42, 652–660.
- BRINGI, V. N.; CHANDRASEKAR, V.: **Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications**. Cambridge University Press, 636 pp. 2002.
- DA SILVA, A. B. P.: **Estudo de Dois Casos Extremos de Precipitação sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil**. 2002. Dissertação Apresentada ao Departamento de Meteorologia/ CCEN/UFAL, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia-Área de Concentração em processos de Superfície.
- DOVIAK, R. J.; ZRNIC, D. S.: **Doppler radar and Weather Observations**. Academic Press, 1984. 458 pp.
- DUARTE, B. M.; **Caracterização microfísica de sistemas meteorológicos de mesoescala utilizando dados do cloudsat**. 2012. Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).
- HORSTMEYER, Steve. **Watermolec**: All rights reserved, 2008. Disponível em: <http://www.shorstmeyer.com/wxfafs/float/rdtable.html>. Acesso em: 1028 Fev. 2015, 16:30:30.
- HOUGHTON, H. G.: **On Precipitation Mechanisms and their Artificial Modification**. J. Appl. Meteorol. 1968. 7, 857-859.
- IHADUA, Isidro Metódio Tuleni Johanes. **Estabelecimento de critérios inovadores para a quantificação da precipitação para a região coberta pelo radar meteorológico de Maceió**. 2016.
- MORAES, M. C. da S. **Distribuição de Gotas de Chuva e a Relação Z-R Para Radar Na Costa Leste do Nordeste do Brasil**. 2003. Dissertação apresentada à Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia- DMET/UFAL

MORAES, M. C. et al. **Análise de Eventos de Chuva na Região Leste do Nordeste do Brasil durante Janeiro de 2004 Utilizando dados Disdrométricos e Informações de Radar e Satélite**. CBMET 2015. Disponível em: [www.shorstmeyer.com/wxfaq/float/rdtable.html](http://www.shorstmeyer.com/wxfaq/float/rdtable.html). Acesso em: 1028 Fev. 2015, 16:30:30.

ROGERS, R. R.: **A Short Course in Cloud Physics**. Pergamum Press, Second Edition. 1979. South America. Amer. Meteorol. Soc., 119-139.

RYZHKOV, A., S. E. et al: **Rainfall estimation with a polarimetric prototype of WSR-88D**, 2005, J Appl. Meteor, 44, pp 502-515.

SELIGA, T. A. et al.: **A preliminary study of comparative measurements of rainfall rate using the differential reflectivity radar technique and a rain gauge network**. J. Appl. Meteor., 1981. 20, 1362–1368.

SELIGA, T. A.; BRINGI, V. N.: **Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarizations for measuring precipitation**. J. Appl. Meteor., 1976. 15, 69–75.

TAYOB, Lelo, Jaime, Domingos. **Determinação da relação entre a intensidade da chuva e refletividade do radar na costa do estado de alagoas usando disdrômetro ott parsivel<sup>2</sup>**. 2014. Dissertação de Mestrado em Meteorologia apresentada à UFAL/ICAT para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

ULBRICH, C.W.: **Natural Variation in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution**. Journal of climate and applied meteorology. 1983. Vol. 22 pp1764-1775.

## QUANTIFICATION OF PRECIPITATION WITH POLARIMETRIC VARIABLES FOR THE REGION COVERED BY THE MACEIÓ S-BAND METEOROLOGICAL RADAR

**ABSTRACT** – The main objective is to contribute to establish innovative criteria for quantification of precipitation for the region covered by the new dual-polarization S-band Doppler meteorological radar. Polarimetric, disdrometric and pluviometric measurements were used to calculate the droplet size distribution (DTGs), rainfall rates, Z-R, KDP-R and ZDR-R relations for the classification of hydrometeors and rainfall quantification. The KDP-R relationship survey and calibration with accumulated rainfall rate was compromised because there was no rainfall  $> 30 \text{ mm.h}^{-1}$  in the studied period. The results obtained with ZDR polarimetry and calibration with instantaneous rates, were satisfactory. The classification of hydrometeors with surface measurements of the disdrometer, characterized the microphysics of the drops that presented results consistent with the ZDR-R polarimetric relations. At rainfall rates  $> 2 \text{ mm.h}^{-1}$  and  $< 6 \text{ mm.h}^{-1}$ , droplets with diameters  $> 1 \text{ mm}$  were conferred, totalling 126 droplets, which ranged from 0.187-1.375 mm in diameter, the highest frequency of DTGs occurred in the 0.427 mm diameter class with 79,785 droplets. For rainfall rate  $< 2 \text{ mm.h}^{-1}$  the droplets ranged from 0.187-0.937 mm diameter with 83,812 droplets, with highest frequency of DTGs in the 0.312 mm diameter class. The ZDR-R polarimetric correlations showed few dispersions than the traditional Z-R which assumes good estimation in rainfall quantification. The radar measurements overestimated the instantaneous rainfall rates

in almost every period, with maximum bias of 10.23 and minimum of -0.14. The ZDR polarimetry satisfactorily estimated the instantaneous rate, with RMS of 1.00.

**KEYWORDS:** Eastern North-Eastern Brazil, Parsivel<sup>2</sup> disdrometer,  $Z_{DR}$  and  $K_{DP}$  polarimetry.

# CAPÍTULO 4

## SAZONALIDADE MICROMETEOROLÓGICA E A CHEGADA DE UM EVENTO DE FRIAGEM NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

**Arisa Koga**

<http://lattes.cnpq.br/1481739134770081>

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Meio Ambiente,  
Umuarama, Paraná

**Gabriela Novais Guesso**

<http://lattes.cnpq.br/1380675195673058>

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Meio Ambiente,  
Umuarama, Paraná

**Rodrigo Tartari**

<http://lattes.cnpq.br/2743143541169682>

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Meio Ambiente,  
Umuarama, Paraná

**RESUMO** – Sazonalmente, massas de ar frio provenientes do sul do continente atingem a região do sudoeste da Amazônia Brasileira em alguns dias do ano. Estes eventos são capazes de ocasionar perturbação atmosférica e alterar os parâmetros micrometeorológicos de forma a influenciar na vida biológica da floresta. O objetivo deste trabalho foi descrever a sazonalidade micrometeorológica, bem como a chegada de um evento de friagem e seus efeitos na região do município de Humaitá-AM, para o ano de 2017. Foram utilizados dados de es-

tações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A precipitação total foi de 2710,6 mm.ano<sup>-1</sup>, sendo sua sazonalidade bem definida por duas estações características, seca e chuvosa. A umidade relativa do ar manteve-se com padrões típicos da região na ordem de 70-90% durante todo o ano. A radiação solar global incidente apresentou o menor valor no período de seca e o maior na transição do período seco para o chuvoso. A temperatura máxima atingiu valores na ordem de 35 °C, e a pressão e velocidade do vento demonstraram um aumento expressivo no mês de julho e valores mínimos em novembro. O evento da passagem da friagem gerou alterações em todos os parâmetros analisados, com queda brusca na temperatura e aumento na pressão e velocidade dos ventos. A umidade relativa do ar apresentou valores baixos devido a friagem ter massa de ar seca e fria.

**PALAVRAS-CHAVE:** Humaitá-AM, incursões de ar frio. estação meteorológica

### 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é o bioma de maior extensão e biodiversidade do planeta, com aproximadamente 7 milhões de km<sup>2</sup>, abrangendo países

da América do Sul como Brasil, Bolívia, Colômbia, Venezuela, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru e Suriname. A Amazônia Legal é uma definição política estabelecida pelo governo Brasileiro e compreende uma extensão de aproximadamente 5 milhões km<sup>2</sup>, correspondendo a 61% do território brasileiro, abrangendo 9 estados, entre eles o Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso (COSTA, GALARZA, GÓMES., 2008; IBGE, 2014).

Esta rica região abriga a maior floresta tropical úmida remanescente do mundo, que protege inúmeros ecossistemas, sendo responsável por desempenhar serviços ambientais fundamentais à manutenção do clima regional e global, influenciando na circulação atmosférica e na precipitação regional e continental (ROCHA, CORREIA, FIALHO., 2012; CAVALCANTI et al., 2009).

A bacia do rio Amazonas representa uma área de aproximadamente 6,3 milhões de km<sup>2</sup>, onde localiza-se o maior rio em extensão do mundo, o rio Amazonas, com 7025 km. A média da precipitação atmosférica da bacia é de 2.300 mm.ano<sup>-1</sup>, sendo que mais ao norte da região este valor pode alcançar 3.000 mm.ano<sup>-1</sup>. A umidade relativa do ar também é alta, com média anual de 80% (COSTA, 2018; FISH et al., 1998).

A radiação solar que incide na superfície deste bioma é alta durante o ano todo, ocasionando pequena amplitude térmica na região, ou seja, a temperatura sofre pouca variação anual, tendo suas médias entre 24 e 26 °C. Entretanto, a região mais ao sul do bioma apresenta uma exceção, visto que oferece uma variação térmica maior, por sofrer ação de sistemas frontais no período do inverno (FISH et al., 1998; CAVALCANTI et al., 2009).

A América do Sul é um continente que frequentemente é atingido por incursões de massas de ar polares (frias e secas) sendo mais comum na parte sul do continente (LONGO et al., 2004). Esse acontecimento está relacionado ao desenvolvimento de um anticiclone frio migratório do sudeste do Pacífico para as planícies do sul do continente, atrás de um sistema frontal, que ao passar pelos Andes, sofre com as características orográficas, e se desloca uma parte no sentido do Oceano Atlântico, e outra no sentido de menores latitudes, atingindo assim o interior do Brasil e chegando ao sul do estado Amazonas (CAVALCANTI et al., 2009).

Segundo Viana (2015) os sistemas anticiclônicos são caracterizados por possuir baixa temperatura, ausência de convecção com poucas nuvens de precipitação, e ventos calmos após sua passagem. Sendo assim, este fenômeno é caracterizado por trazer ao sul do estado do Amazonas mudanças meteorológicas como queda brusca de temperatura e na umidade relativa do ar, aumento na pressão, mudança na direção e intensidade dos ventos, além de causar alterações no regime pluviométrico. Este evento é relativamente comum na região norte durante o período do inverno e é localmente conhecido como friagem (CAVALCANTI et al., 2009; NETO, 2013).

Em um estudo sobre picos de friagem, Marengo et al., (1997) descreveram impactos significativos nos parâmetros meteorológicos, na fauna, na flora e modificando a vida cotidiana da população local, visto que normalmente no bioma amazônico todos são habituados com

alta temperatura e baixa amplitude térmica anual e, por vezes, acabam sendo surpreendidas pela friagem (RIBEIRO, 2012).

Levando em consideração todos os fatos já abordados, é notável a importância de pesquisas que auxiliem na compreensão deste bioma, bem como forneça informações sobre a variação dos parâmetros meteorológicos locais, obtendo resultados úteis em estudos de modelagem atmosférica para futuros cenários da Amazônia. Para o foco deste estudo tem-se a cidade de Humaitá-AM localizada no sudoeste da região amazônica, município cuja economia tem como base a agricultura, a pecuária e a pesca, atividades que estão diretamente associadas ao comportamento dos parâmetros meteorológicos e dos recursos naturais presentes na área. Portanto o objetivo do presente trabalho é analisar a sazonalidade micrometeorológica em um ciclo hidrológico, bem como a chegada de um evento de friagem no ano de 2017 e seus efeitos na região do município de Humaitá-AM

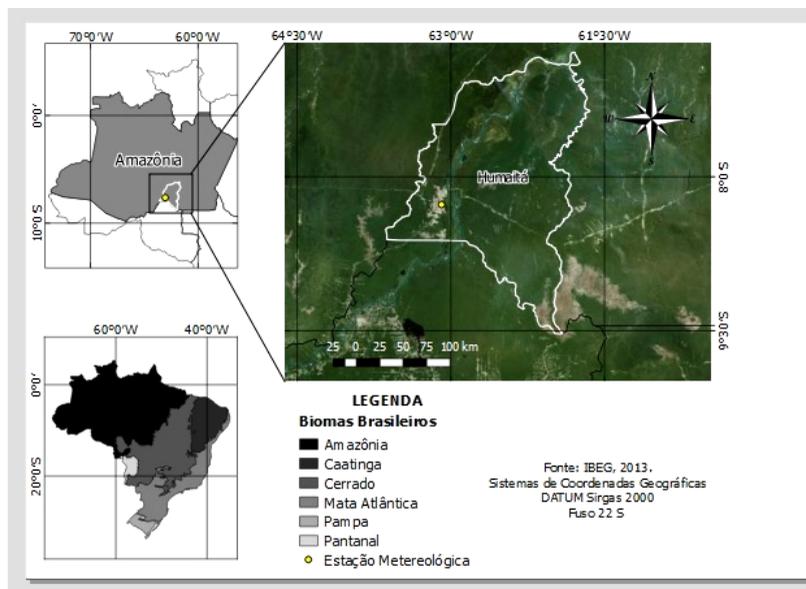
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Humaitá-AM é um município pertencente ao sudoeste do estado do Amazonas (Figura 1), e está localizado à margem esquerda do rio Madeira (SANTOS, et al., 2018). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Am, tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um comportamento pluviométrico que evidencia um ciclo anual marcado por uma estação chuvosa e uma estação seca.

A estação chuvosa compreende os meses de novembro a março, já a estação seca abrange os meses de maio a setembro, os meses de abril e outubro são considerados o período de transição entre a estação chuvosa para seca e da seca para a chuvosa, respectivamente (SILVA, 2006).

**Figura 1** – Mapa de Localização da cidade de Humaitá-AM no Bioma Amazônico.



O valor médio de precipitação anual é de 2300 mm. Por receber fortes incidências de radiação na superfície ao decorrer do ano, a região demonstra pequena amplitude sazonal de temperatura com uma média entre 24 e 26 °C. A umidade apresenta altos percentuais durante todo o ano, e a pressão e velocidade dos ventos aponta variação em consequência dos fenômenos atmosféricos frequentes na região (FISH et al., 1998).

## 2.2. OBTENÇÃO, TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que foram integralizados e transmitidos a cada 1 hora de forma automática. Para a realização deste estudo, utilizou-se os dados do período de janeiro a dezembro de 2017, dos seguintes parâmetros meteorológicos: pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e velocidade dos ventos. Primeiramente o banco de dados, distribuído na planilha do tipo Microsoft Excel, passou por uma verificação para detectar falhas e incoerência nos dados. Após a confirmação da periodicidade realizou-se a correção da hora local para hora UTC (-4 horas), e separaram-se os valores horários mensalmente. Para determinação dos valores totais mensais e anuais de precipitação, bem como a determinação das médias mensais e o desvio padrão das demais variáveis. Separou-se para análise os dados do mês que apresentaram eventos de friagem, sendo a ocorrência nos dias 19 e 20 do mês de julho, levando em consideração também dias anteriores e posteriores às incursões de ar frio, totalizando 11 dias de análises específicas do evento (dia 196 ao 206 juliano).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. SAZONALIDADE MICROMETEOROLÓGICA

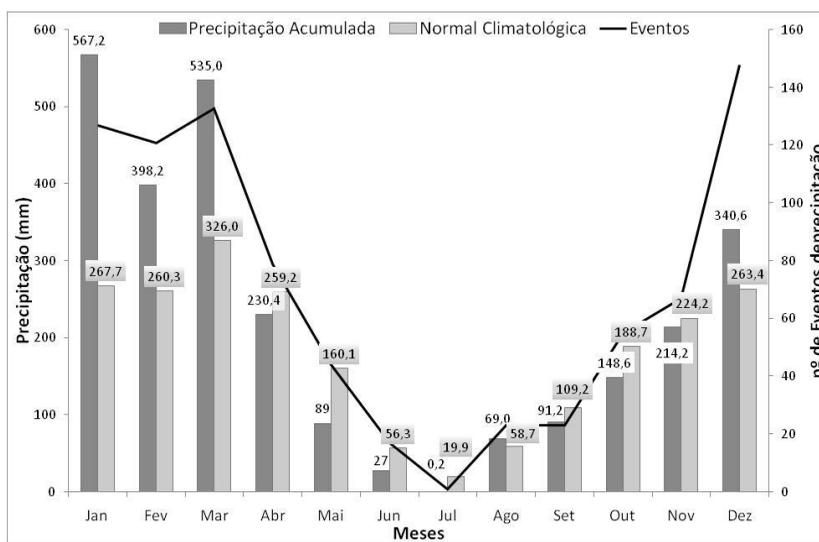
#### 3.1.1. Precipitação

Segundo o INMET (1961-1990) a normal climatológica da precipitação média de Humaitá apresentou um acumulado anual de 2193,6 mm, constatando que para o ano de 2017, a precipitação ultrapassou essa média em 23,6%, obtendo um acúmulo total anual de 2710,6 mm. Na Figura 2, nota-se que os meses de janeiro, fevereiro e março compreendem o período chuvoso, com mais de 50% do volume anual; abril e maio considera-se o período de transição do chuvoso-seco; junho, julho, agosto e os meses do período de seca, compreendendo 10% do volume anual de precipitação; o mês de setembro e outubro a transição do período seco-chuvoso; retomando, por fim, o período chuvoso com os meses de novembro e dezembro que completará o ciclo com janeiro, fevereiro e março do próximo ano.

Observa-se que em 2017 o período chuvoso apresentou a maioria dos meses com volumes totais acima da média climatológica, enquanto o período seco apresentou volumes totais abaixo dos volumes climatológicos. Os dados apontam que o mês de julho apresentou o menor volume de precipitação (0,2 mm), e apenas uma evento de chuva.

Embora janeiro apresente o maior volume de precipitação, é no mês de dezembro que se observa o maior número de eventos de chuva, o que caracteriza chuvas de baixa intensidade para este mês e eventos de grande intensidade, com chuvas fortes no mês de janeiro.

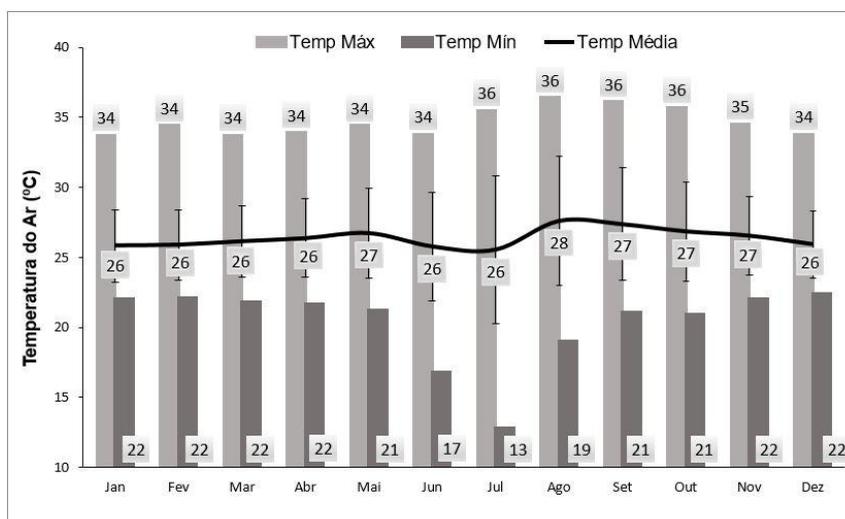
**Figura 2** – Precipitação acumulada mensal e eventos de precipitação em Humaitá para o ano de 2017, e a normal climatológica mensal de 1961 a 1990.



### 3.2. TEMPERATURA DO AR

A variação da temperatura máxima, mínima e média durante o período analisado é apresentada na Figura 3. Nota-se que a temperatura máxima sofreu pouca alteração durante o período de estudo, variando em torno dos 35 °C. Em relação à temperatura mínima, é possível observar que no mês de julho ocorreu uma queda significativa, obtendo-se a menor mínima do ano de 12,8 °C.

**Figura 3** – Variação da média mensal da temperatura do ar (°C), máxima e mínima.



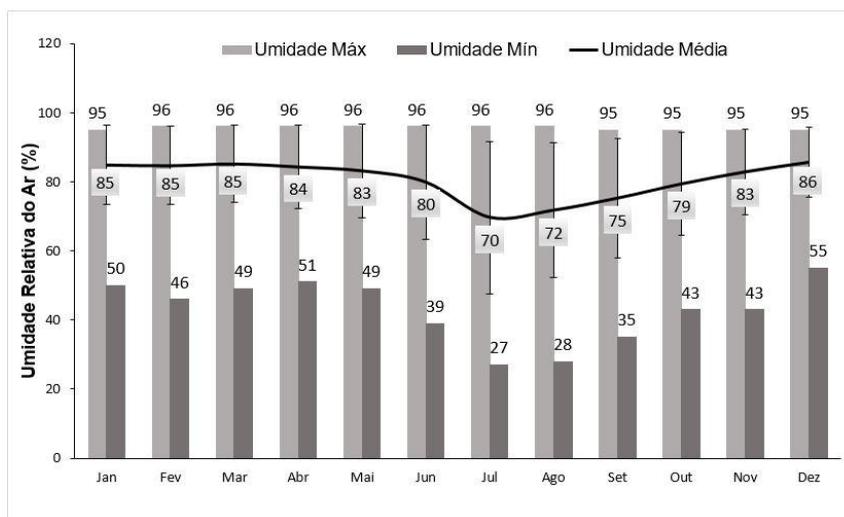
Observou-se que a temperatura média do ar variou dos 25 °C até aos 27 °C durante todo o período analisado. A menor amplitude térmica foi observada no mês de dezembro, cuja mínima atingiu 22,4 °C e máxima de 33,8 °C. Já em julho, foi observada a maior amplitude térmica de 22,7 °C, com máxima de 35,5 °C e mínima de 12,8 °C.

Nota-se que os maiores valores de temperatura máxima encontram-se no período de seca se comparados ao período chuvoso. Isso ocorre devido a diferença na quantidade de nebulosidade nos respectivos períodos analisados, como verificado por Vilani et al., (2006) que em seus estudos de sazonalidade de uma floresta de transição da Amazônia e cerrado as maiores porcentagens de temperatura foram na estação seca, e seca-úmida.

### 3.2.1. Umidade Relativa do Ar (UR)

A UR é função da temperatura, e a medida que aumenta a temperatura, diminui a UR, sendo variável ao longo do dia. Na Figura 4 observa-se que os valores máximos ocorrem durante todo o ano e na maior parte do tempo no período noturno e ao longo dos dias chuvosos, bem como se associa a alta taxa evapotranspiração florestal. (CAVALCANTI, et al., 2009).

**Figura 4** – Variação da média mensal da umidade relativa do ar (%), máxima e mínima.

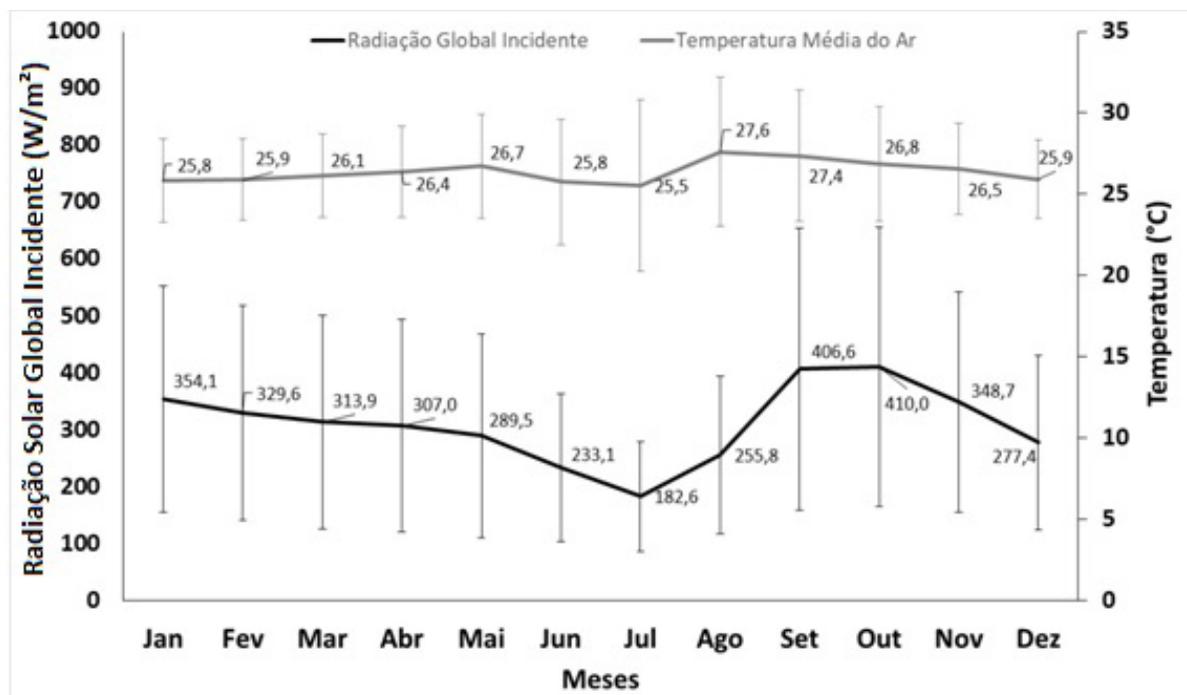


A umidade relativa do ar mínima apresentou uma maior variabilidade sazonal, com uma diferença de 28% entre o mês com a menor mínima (julho com 27%) e o mês com a maior mínima (dezembro com 55%). A variabilidade se deve ao fato de que em julho as precipitações são quase nulas e em dezembro tem-se a ocorrência do maior número de eventos e maior volume de precipitação, mantendo a umidade elevada. Quanto à umidade relativa média, esta apresentou um menor valor em julho/agosto, porém manteve-se alta e uniforme durante todo o ano, confirmando o demonstrado também por Vilani et al., (2006) em seu estudo de sazonalidade meteorológica em uma floresta de transição da Amazônia e Cerrado, que encontrou valores de 85,8% e 70,3% de umidade média para as estações chuvosa e seca, respectivamente.

### 3.2.2. Radiação Global (Rg)

Na Figura 5 tem-se a distribuição das médias mensais da radiação global incidente ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) e a temperatura do ar média ( $^{\circ}\text{C}$ ). Destacam-se como os meses com maior radiação máxima: setembro e outubro, meses com baixa nebulosidade e com características de céu claro, quando a radiação atinge a superfície com energia na ordem de  $410 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Vilani et al., (2006) apresenta resultados semelhantes com maior valor médio de radiação na estação seca-úmida de  $168 \pm 193 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Figura 5 – Variação das médias mensais da Rg incidente ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) e da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).



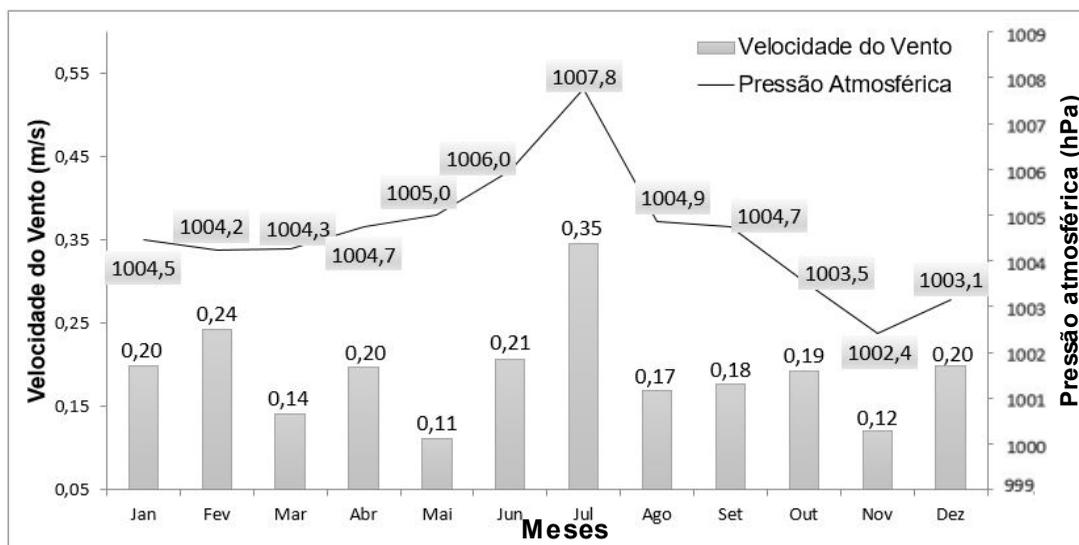
Os meses de maio, junho e julho demonstram uma queda tanto da temperatura média quanto da radiação solar incidente. No mês de julho é detectada a mínima de radiação solar incidente, associando este valor ao fenômeno conhecido como afélio, quando o ponto da órbita ao redor do Sol em que a Terra fica mais longe do astro (SILVA, 2006). Além deste fenômeno, a chegada de massas de ar frias também gera influência sobre a radiação solar, visto que essas massas de ar podem impedir a incidência dos raios solares, assim como demonstrado no estudo de Vilhena et al., (2010), que encontraram valores baixos de radiação ao analisar um evento de friagem em 2007 na Amazônia Ocidental.

### 3.2.3. Velocidade dos Ventos e Pressão atmosférica (P atm)

Observa-se na Figura 6 que a velocidade máxima e média dos ventos no período seco apresentou valores em torno de  $0,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Já no período chuvoso passou a ser um pouco menor, atingindo  $0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . A velocidade do vento é maior no período seco pois, nesta época a

temperatura do ar tende a possuir uma maior variação, acarretando assim em uma variação no aquecimento da superfície, gerando maiores diferenças de pressão e, conseqüentemente, maiores valores de velocidades do vento, resultado encontrado e consonância com o trabalho de Siqueira et al., (2014).

**Figura 6** – Variação das médias mensais da pressão atmosférica (hPa) e da velocidade média do vento ( $m.s^{-1}$ ).



Destaca-se ainda novembro com baixa velocidade dos ventos por ser o mês de início da estação chuvosa devido as nuvens de chuva que refletem a luz do sol e fazem com que a radiação global aqueça a superfície terrestre e ocasione uma pequena diferença de temperatura entre as massas de ar próximas desta superfície (SIQUEIRA et al., 2014).

Em julho, por se tratar do período de inverno na América do Sul, é frequente a passagem de massas de ar frio, e observa-se um pico com valores mais altos no que se refere à pressão e a velocidade do vento, ao que tudo indica este acontecimento está associado ao evento de friagem.

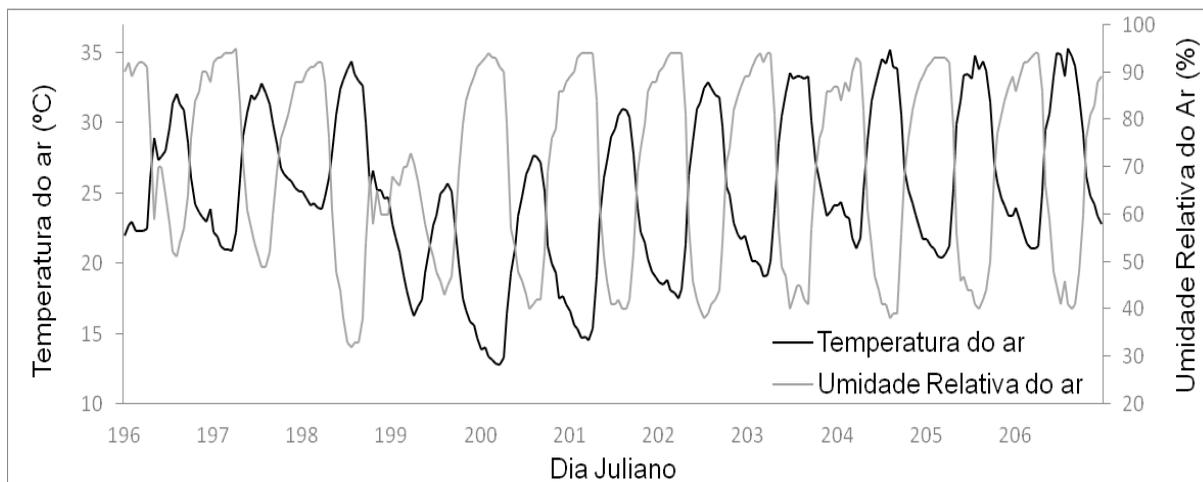
A pressão atmosférica está diretamente relacionada com a velocidade e direção dos ventos, em que sua alteração pode gerar oscilações nas correntes de ar. Os meses mais quentes do ano podem efetuar o aumento da diferença de pressão atmosférica entre o continente e o rio que banha a cidade, podendo o rio Madeira intensificar a brisa sobre a terra firme.

### 3.3. CHEGADA DE UM EVENTO DE FRIAGEM

Durante o ano de 2017, no período do inverno, uma massa de ar de origem polar foi responsável pelo esfriamento de todo Brasil, causando geadas no sul do país e atingindo o sul e sudeste do Amazonas. Humaitá recebeu a influência do fenômeno da friagem e demonstrou variações nos parâmetros meteorológicos.

Na Figura 7, tem-se que nos dias anteriores à friagem (DJ 196, 197, 198) a temperatura mantinha a média de 30 °C, durante o dia. Já a partir do dia 199, verifica-se uma queda de 33,5 °C do dia 198 para 16,3 °C do dia 199, dia este que obteve a menor temperatura durante o período diurno.

**Figura 7** – Distribuição do ciclo diário da temperatura do ar (°C) e da UR do ar (%) no período do dia juliano 196 a 207 (16 a 26 julho).



A menor temperatura anual registrada foi 12,8 °C no dia 200 (19 de julho), e no mesmo dia no período diurno as temperaturas atingiram 25°C, próximo às 14h00min. Vilhena et al., (2010) apresentaram em sua pesquisa a respeito de um evento de friagem na Amazônia uma modelagem que distingue o ar potencialmente mais frio durante o período da noite e consequentemente o seu aquecimento durante o período diurno.

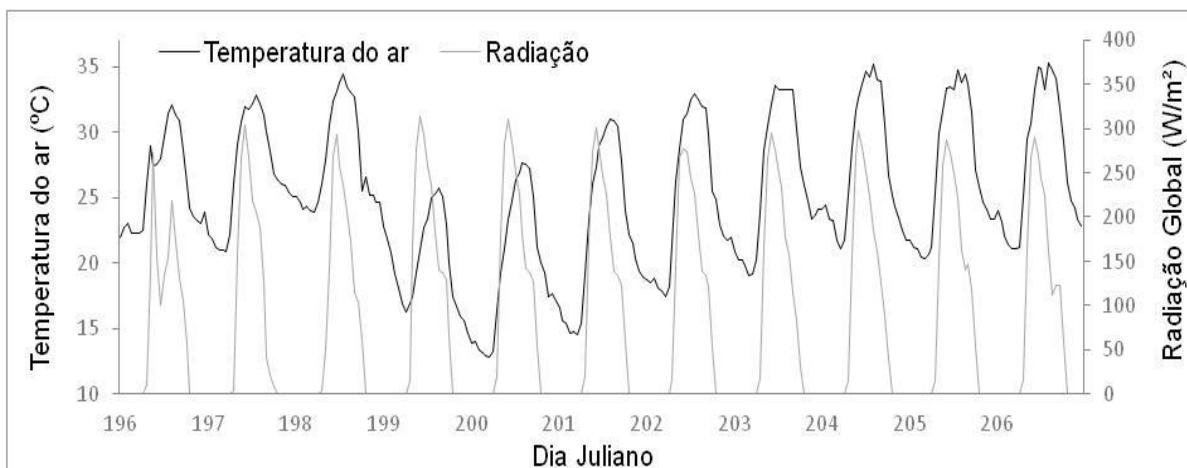
No dia 201 as médias ainda foram baixas com 14,5 °C durante o amanhecer, entretanto a partir do dia 202 já verificamos a retomada da normalidade com temperaturas altas, chegando a 35,2 °C. Longo et al., (2004), em sua pesquisa sobre um evento de friagem no sudoeste da Amazônia, encontraram a mesma influencia com valores baixos de temperatura, caracterizando a friagem, e dois, três dias após o evento, os valores de temperatura retornando a média normal.

Quanto à umidade relativa do ar, observa-se que esta sofre uma variação ao longo do dia da chegada do evento de friagem (DJ 199) não ultrapassando a média de 70% logo pela manhã, período que geralmente a umidade se encontra acima dos 90%. Este fato indica que a massa de ar frio que ocasionou a friagem era uma massa de ar seca. Nos dias anteriores a umidade se mantinha na ordem de 50% durante o dia, e após o evento não ultrapassou a média de 40% durante o dia, mantendo-se até o final do mês de julho.

Observa-se uma variação da radiação solar global no dia 196 obtendo um valor baixo de 101 W.m<sup>-2</sup> durante o dia, sendo corriqueiros valores na ordem dos 300 W.m<sup>-2</sup>. Pode-se relacionar este evento ao fato de uma maior nebulosidade ocorrida neste dia, com massa de ar fria

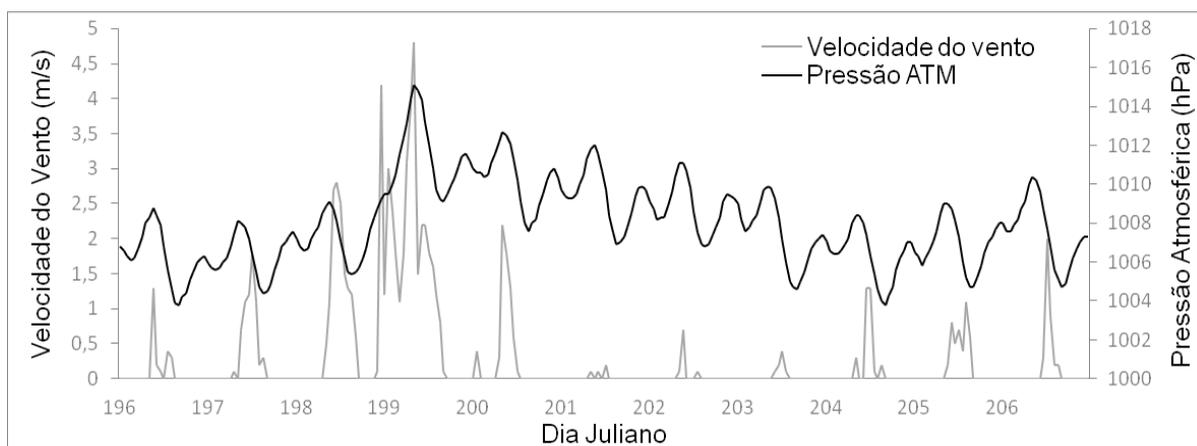
e seca, com retorno à homogeneidade nos dias posteriores conforme Figura 8. Nota-se que mesmo com a queda da temperatura a radiação se manteve estável evidenciando novamente que a massa é de característica seca, sem a presença de nuvens de precipitação, podendo apenas apresentar uma nebulosidade fina e seca da própria massa.

**Figura 8** – Distribuição do ciclo diário da temperatura e da Rg (W.m-2) no período do dia juliano 196 a 206 (16 a 26 julho).



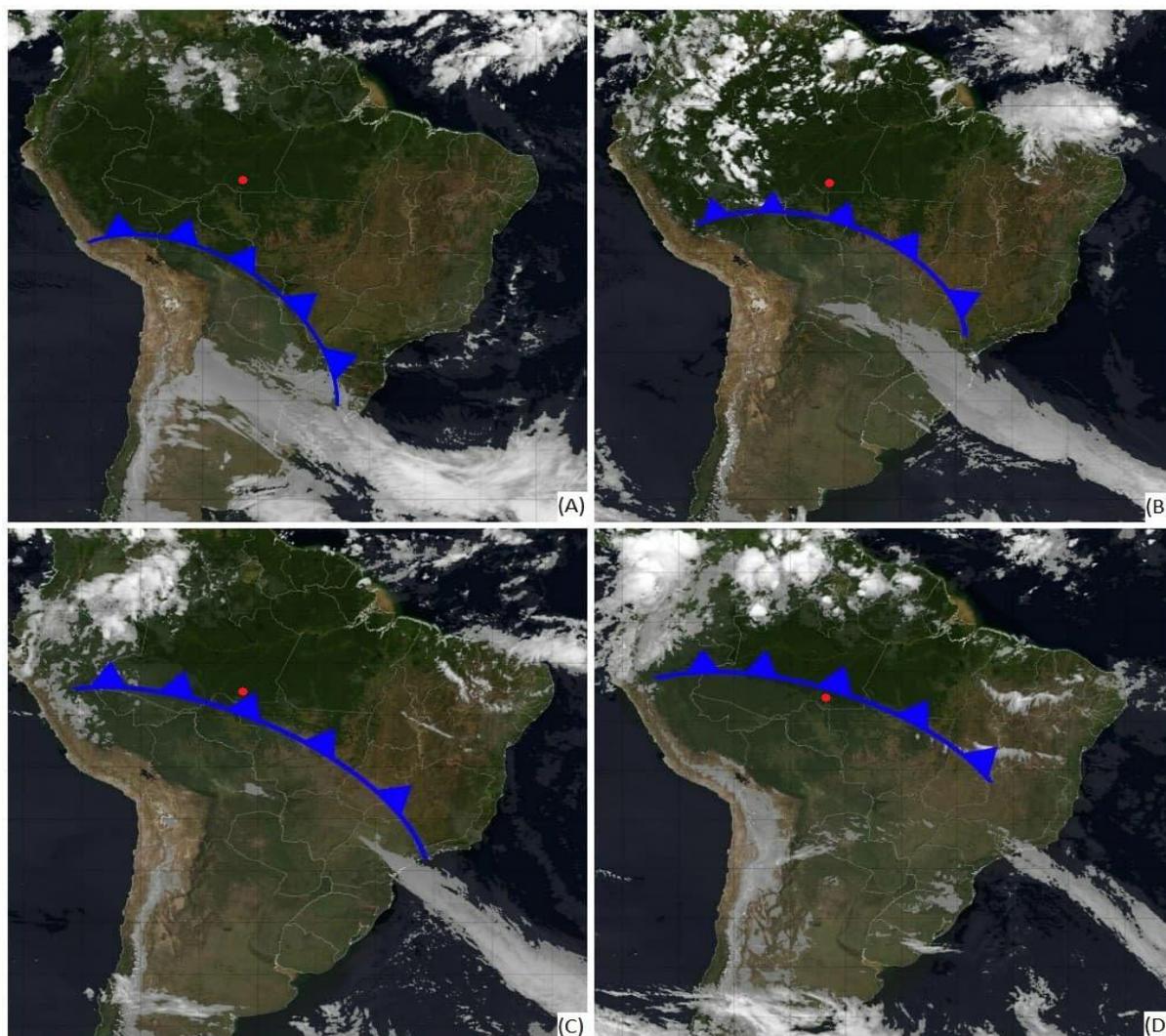
Na Figura 9 tem-se que no dia da chegada da friagem (DJ 199) há ocorrência de um aumento tanto na velocidade do vento, quanto na pressão atmosférica, com valores de  $4,8 \text{ m.s}^{-1}$  e  $1015 \text{ hPa}$  respectivamente, confirmando as afirmativas de Neto (2013) que diz que as incursões de massas polares causam alterações no regime dos ventos e aumento de pressão atmosférica. Durante os dias do evento de friagem, a pressão segue alta com valores de  $1012 \text{ hPa}$ , mas após a passagem retoma sua normalidade entre  $1008$  e  $1006 \text{ hPa}$ . Já a velocidade do vento reduz sua intensidade com a passagem da friagem, com valores quase nulos nos dias 201, 202 e 203 e apresentando valores na ordem de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  no dia 204.

**Figura 9** – Distribuição do ciclo diário da velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) e da Pressão atmosférica (hPa) do ar no período do dia juliano 196 a 207 (16 a 26 julho).



A chegada do evento de friagem pode ser observada por meio das imagens do satélite GOES (CPTEC, 2019), que permitem a visualização do movimento da massa de ar polar fria e seca, caracterizada por possuir nebulosidade fina, sem a presença de nuvens de precipitação, vindo da região sul para região norte do país.

**Figura 10** – Imagens adaptadas do satélite GOES - colorida BM - apresentando a chegada da friagem em Humaitá-AM, pelos dias (A) 16 (B) 17 (C) 18 (D) e 19 de julho de 2017, correspondente aos dias Juliano 197, 198, 199 e 200.



Fonte: Autores, 2019.

O dia 16 de julho (197 dia Juliano), que antecede as baixas temperaturas registradas em Humaitá, observa-se a massa de ar polar com nebulosidade fina na parte inferior da linha azul, adentrando o Brasil apresentada na Figura 10A.

Na Figura 10 B, observa-se o deslocamento da massa de ar que atingiu o sul, sudeste e centro-oeste do país, no dia 198 juliano. Na Figura 10 C nota-se a massa de ar de origem polar

atingindo o sul do estado Amazonas no dia 199 juliano. Por fim, no dia 19 de julho, observa o dia mais frio do ano no sul do Amazonas, quando é possível observar a massa de ar polar passando sobre a cidade, representada pelo ponto em vermelho na Figura 10 D.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o estudo, identifica-se que a precipitação apresentou um total anual acima da média em Humaitá e uma variabilidade sazonal característica, com estação seca e chuvosa bem definida.

Em termos de umidade relativa do ar, observa-se altos valores durante todo o ano na ordem de 90%, e uma diminuição nos meses secos. A radiação global apresentou menores valores em julho decorrentes da nebulosidade, bem como por ser o mês que o sol está mais distante da Terra.

A velocidade do vento e a pressão atmosférica apresentaram valores máximos no mês de julho, quando as precipitações são baixas e ocorrem efeitos na região por deslocamento de massas de ar fria e seca vindo da região sul da América do sul.

A temperatura do ar, média e a máxima, sofreram pouca alteração no decorrer do ano, somente a mínima que apresentou uma maior diferença, acentuando a variação da sua sazonalidade em 2017 com uma mínima de 22 °C em janeiro e 12,8 °C em julho. Tem-se que a maior variabilidade térmica ocorreu no mês mais seco.

A conclusão que se obtém sobre o evento de friagem é que se trata de uma massa de ar capaz de alterar os parâmetros meteorológicos, visto que para o ano de 2017, em Humaitá, esse evento trouxe quedas de temperaturas e umidade relativa do ar, aumento na pressão e velocidade do vento, além de alterações na radiação solar global.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COSTA, K.; GALARZA, E.; GÓMEZ, R. **GEO Amazônia: perspectivas do meio ambiente na Amazônia**. Brasília, DF: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2008.

COSTA, D. Amazônia. **National and Internacional Strategies**, 2018.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 101–101, jun. 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências – Informações Ambientais – Vegetação. **Amazônia Legal**, 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normal Climatológica**, 1960-1990.

LONGO, M.; SILVA DIAS, M. A. F.; DE CAMARGO, R. Análise Das Características Dinâmicas E Sinóticas De Um Evento De Friagem Durante a Estação Chuvosa No Sudoeste Da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 59–72, 2004.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic impacts of “friagens” in forested and deforested areas of the Amazon basin. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 11, p. 1553–1566, 1997.

NETO, A. C. A. **Estrutura e Evolução de Frentes Frias Intensas na Região Amazônica Brasileira**. 2013. Tese de doutorado. Universidade do Estado do Amazonas – INPA. 2013.

RIBEIRO, I. L. **As Incursões de Ar Frio no Estado do Amazonas**. 2012. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas. 2012.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; FIALHO, E. S. A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de Modelagem Numérica da Atmosfera. **Acta Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica. p.31-48, 2012.

SANTOS, P. G. S.; QUERINO, C. A. S.; ARAUHO, V. A. Radiação Solar Global Diária para o Município de Humaitá – AM Estimada pelo Modelo de Bristowe Campbell. **Revista EDUCAmazônia**. Ano 10, Vol XX, Número 1, Jan-Jun, p. 173 – 185, 2018.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, 2006.

SIQUEIRA, L. F., et al. Caracterização do Regime de Ventos nos Municípios de Humaitá-Am e Apuí-Am. **Revista EDUCAmazônia**. Ano 7, Vol XII, Número 1, Jun-Jul, Pág. 99-112, 2014.

VIANA, L. P. **Estudo Observacional dos Eventos de Friagens e Tendências Climáticas na Bacia Amazônica Brasileira**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. 2015

VILANI, M. T., et al. Sazonalidade da Radiação, Temperatura e Umidade em uma Floresta de Transição Amazônia Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 331-343, 2006.

VILHENA, J. E. S.; GOMES, N. V.; DANTAS, V. A. **Simulação numérica de um evento de friagem na estrutura da atmosfera da Amazônia ocidental**. In: XVI CONGRESSO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010, Belém-PA. Artigos de Modelagem Atmosférica.

## MICROMETEOROLOGICAL SEASONALITY AND THE ARRIVAL OF A COLD EVENT IN THE SOUTHWEST OF THE BRAZILIAN AMAZON

**ABSTRACT** – Seasonally, cold air masses from the south of the continent reach the southwestern region of the Brazilian Amazon on some days of the year. These events are capable of atmospheric disturbance and alteration of micrometeorological parameters in order to influence the biological life of the forest. The objective of this work was to describe a micrometeorological seasonality, as well as the arrival of a cold event and its effects in the region of the municipality of Humaitá-AM, for the year 2017. Data from meteorological stations of the National Institute

of Meteorology (INMET) were used. The total deficiency was  $2710.6 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$ , and its seasonality is well defined by two characteristic seasons, dry and rainy. The relative air humidity is maintained with typical patterns of the region in the order of 70-90% throughout the year. The incident global solar radiation showed the lowest value in the drought period and the highest in the transition from the dry to the rainy period. The maximum temperature reached the values in the order of  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , and the pressure and the wind speed showed an expressive increase in the month of July and values defined in November. The event of the cold passage generated changes in all import parameters, with a sharp drop in temperature and an increase in pressure and wind speed. The relative humidity of the air is low due to the coldness having dry and cold air mass.

**KEYWORDS:** Humaitá-AM, cold air incursions. weather station

# CAPÍTULO 5

## UMA VISÃO SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM REGIÕES CLIMATOLÓGICAS DISTINTAS: UMA ANÁLISE DA ÁREA QUEIMADA NA AMAZÔNIA LEGAL E NA PROVÍNCIA DE ALBERTA

**Yara Campos Miranda**

<http://lattes.cnpq.br/0018928274834963>  
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo

**Kauana Mara da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/6606601543110234>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**Amanda Correa Nunes**

<http://lattes.cnpq.br/3101294638756609>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**Andrey Cassiano Martins**

<http://lattes.cnpq.br/1685826941939870>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**Danrley de Abreu dos Santos**

<http://lattes.cnpq.br/3168909607476826>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**Francisco Antônio Dupas**

<http://lattes.cnpq.br/5421344818132855>  
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo

**Rodrigo Camilo**

<http://lattes.cnpq.br/6266998844527920>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**Ricardo Puziol de Oliveira**

<http://lattes.cnpq.br/8509404558611596>  
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná

**RESUMO** – Os incêndios florestais podem ter origem natural ou antrópica. Quando fogem do controle, possuem o potencial de ocasionar impactos ambientais, sociais e econômicos, necessitando assim de estratégias de monitoramento e mitigação. Dentre as regiões do globo mais acometidas por focos de calor, destacam-se a Amazônia Legal, localizada no Brasil e a Província de Alberta, pertencente ao Canadá. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi realizar uma análise temporal das queimadas nestas regiões. Para tanto, foi utilizado o modelo estatístico de regressão polinomial linear combinado com um modelo de volatilidade estocástica a partir de dados de área queimada disponibilizados por órgãos governamentais de ambos os países. Como resultados, a região da Amazônia Legal possui a maior intensidade de atividades de

queimadas entre os meses de julho e agosto, enquanto que em Alberta, os meses de abril e maio destacaram-se. Ambos os períodos correspondem as épocas mais secas, demonstrando assim, a possível relação das variáveis meteorológicas com a área queimada. Além disso, o modelo utilizado demonstrou viabilidade no entendimento do comportamento do fogo em ambas as regiões, podendo assim ser aplicado em análises e previsões de incêndios florestais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise estatística; Queimadas; Amazônia Brasileira, Floresta Boreal

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios podem ter origem natural ou antrópica. Em condições naturais, tendem a ser influenciados pelas condições meteorológicas, tal como ausência de precipitação, elevadas temperaturas, ventos fortes, ocorrência de raios dentre outras possibilidades. As queimadas não são consideradas desastres naturais, diferenciando-se dos incêndios florestais por ser uma prática bastante antiga dos agricultores, destinada principalmente à limpeza do terreno para o cultivo de plantações ou a formação de pastos. Quando fogem do controle, podem causar incêndios em áreas florestais (GARCIA et al., 2019; ARAGÃO et al., (2018)

Atualmente, as queimadas são uma preocupação mundial, uma vez que acarretam em perda de habitats relevantes, emissão de gases do efeito estufa, bem como impactos relacionados aos aspectos sociais e econômicos. Com isso, inúmeras são as estratégias de monitoramento de focos de calor, visando propor métodos de mitigação de tais fenômenos (BOWMAN et al., 2020).

As ocorrências de incêndios florestais no Brasil e em outras partes do mundo como na província canadense de Alberta, causam diversas alterações drásticas no ambiente e danos econômicos importantes. As estatísticas sobre a ocorrência desses incêndios florestais mostram que grande maioria se inicia a partir de fontes de fogo decorrentes direta ou indiretamente das atividades humanas. Diversas características do ambiente têm forte influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais. Os fatores mais relacionados são: materiais de combustível, as condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal. (BATISTA, 2000)

De acordo com o estudo de Santos (2017), foi possível identificar que os impactos das queimadas de origem antrópica são preocupantes para o clima da Amazônia. Como resultado do estudo, ressaltou-se que uma possível alteração na composição química da atmosfera, pode gerar efeitos climáticos indesejáveis. Já Longo et al. (2009), ressalta que os efeitos da queima de vegetação se espalham por diversas regiões na Amazônia, chegando aos centros urbanos e causando além dos impactos ambientais, o aumento da ocorrência de doenças respiratórias na população.

Em Alberta, outras pesquisas buscaram entender a problemática dos incêndios. O estudo de Stralberg et al. (2018) ressalta que o aumento dos incêndios florestais é um fator

que acelera as mudanças no ecossistema, principalmente na vegetação do local, em diversas áreas, incluindo a região de floresta boreal, que cobre a maior parte da província canadense, tendo em vista que a região é caracterizada por um clima continental, que apresenta uma variação anual significativa de temperatura, com verões quentes e invernos frios e o fogo é uma perturbação natural predominante.

Visando entender o comportamento e a dinâmica das áreas queimadas, é cada vez mais comum o uso de ferramentas estatísticas, tal como estudos desenvolvidos por Robinne, Parisien e Flannigan (2016) e Jaafari et al., (2019).

Entretanto, comparações que empregam modelos estatísticos para o estudo do comportamento das áreas queimadas ainda são incipientes. Neste contexto, este trabalho busca realizar uma análise temporal das queimadas na Amazônia e em Alberta de modo a contribuir para o entendimento das causas que influenciam tais fenômenos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo comparativo foi realizado para duas áreas com características distintas, que em comum, apresentam elevada quantificação de focos de calor advindos de queimadas, sendo elas a Amazônia Legal brasileira e a Província de Alberta, localizada no Canadá.

#### 2.1.1. A Amazônia Legal

A área que compreende o Bioma Amazônico abrange 5.217,423 km<sup>2</sup>, correspondendo a 61% do território brasileiro. Desta forma, é a maior floresta tropical do mundo. Quanto a divisão administrativa, a Lei Complementar n 124/2007 dita que o bioma contempla os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão nos quais estão parcialmente ou totalmente integrados a Amazônia Legal (BRASIL, 2007).

Considerando a fitofisionomia vegetal da região, a Floresta Equatorial Amazônica é a principal, tendo como característica a elevada umidade e diversidade vegetal. Ainda, é possível subdividir a vegetação em mata de terra firme, mata de várzea e mata de igapó. Em menor proporção, o cerrado também pode ser encontrado, destacando-se neste cenário as espécies xeromorfas (ARAGÃO et al., 2018)

De acordo com o sistema Koppen, a categoria que ocorre na Amazônia Brasileira é o clima tropical chuvoso, constituindo o habitat da floresta tropical, sem estação fria e com temperatura média do mês menos quente acima de 18°C, cuja simbologia é representada pela letra A. Essa categoria de clima apresenta na região três subdivisões Afi, Ami e Awi. Estes três tipos climáticos Koppen, diferem pelos valores limites em função da altura anual das chuvas e do mês menos chuvoso (BASTOS, 1982).

### 2.1.2. A Província de Alberta

Localizada no Oeste canadense, a província de Alberta tem como principal fonte de economia a extração vegetal, mineração e exploração de óleo e gás. A capital de Alberta é o município de Edmonton, conhecido por ser um dos polos industriais da região. O local apresenta uma extensão territorial de 661.848 km<sup>2</sup> com população estimada de 3.645,257 habitantes (SPALDING et al., 2017)

De acordo com o sistema de Koppen, o clima na província de Alberta é subdividido em Dfb (Clima continental úmido de verão fresco), Dfc (Clima subártico sem estação seca) e BSk (Clima semiárido frio). Os invernos são mais secos, ensolarados e frios, embora no sul da província, os ventos Chinook, predominantes da região oeste do Canadá, que ocorrem quando o ar quente e seco de origem do Pacífico desce as encostas orientais das Montanhas Rochosas, elevando as temperaturas em um curto período de tempo (BECK et al., 2018).

A taiga, ou floresta boreal, é a principal fitofisionomia vegetal da área, apresentando certa homogeneidade de coníferas que são naturalmente adaptadas a baixas temperaturas. O Clima fortemente continental exerce influência na distribuição vegetal do local. Desta forma, as florestas apresentam geralmente predominância das espécies *Populus tremuloides* Michx e *Picea glauca* (Moench) Voss *Pinus banksiana* Lamb. A queimada, é um processo que pode acontecer naturalmente na região, sendo que as espécies possuem capacidade de regeneração natural após tal perturbação (STRALBERG et al., 2018).

## 2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS

Este estudo considera os dados mensais de área queimada (em km<sup>2</sup>) do bioma Amazônico situado na região da Amazônia legal (Brasil), e também os dados mensais de área queimada (em Ha) da Província de Alberta situada no Canadá, entre os anos de 2006 e 2018.

Os dados de área queimada da região Amazônica são advindos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do uso das imagens MODIS, coleção 6 dos satélites Aqua com resolução espacial de 1 km. A metodologia aplicada para obtenção do produto é especificada por Libonati et al., (2015).

No caso da província de Alberta, no Canadá, a especificação das áreas queimadas é resultante da utilização de fotografias aéreas e imagens do sensor MODIS advindos do satélite Aqua, disponibilizado pelo site governamental do estado, adquiridos no link <https://wildfire.alberta.ca/resources/historical-data/historical-wildfire-database.aspx>.

## 2.3. MODELAGEM ESTATÍSTICA

Em termos de modelagem, foi utilizado a escala logarítmica para trabalhar com a variável resposta  $Y = \{\text{área queimada}\}$  em ambas regiões devido a valores altos para área queimada e também para ter uma melhor estabilidade computacional.

Nessa escala, também se identificou períodos em que a área queimada foi alta (entre abril e maio) e períodos em que a área queimada foi baixa (entre outubro e novembro), em cada ano considerado neste estudo para a regiões de Alberta. Já para a região do bioma Amazônico, identificamos períodos em que a área queimada foi alta (entre julho e agosto) e períodos em que a área queimada foi baixa (entre janeiro e fevereiro), em cada ano considerado neste estudo. A partir dessa informação, foi considerado um modelo de efeitos sazonais com base no modelo AR(2) para a área queimada nos dois meses anteriores,  $Y(t-1)$  e  $Y(t-2)$ .

Neste aspecto, na presença de heterocedasticidade, isto é, variância dependendo do tempo  $t$ , para a série temporal  $Y(t), t = 1, 2, \dots, 156$  (meses), foi assumido uma combinação de um modelo de regressão polinomial linear para os meses e anos com um modelo de volatilidade estocástica e a inclusão dos efeitos de defasagem (um modelo auto-regressivo) para a área queimada  $Y(t)$  (em escala logarítmica) dado por:

$$Y(t) = \beta_0 + \beta_1 \text{mês}(t) + \beta_2 [\text{mês}(t)]^2 + \beta_3 [\text{mês}(t)]^3 + \beta_4 \text{ano}(t) + \beta_5 [\text{ano}(t)]^2 + \beta_6 Y(t-1) + \beta_7 Y(t-2) + \sigma(t)\epsilon(t) \quad (1)$$

em que  $\epsilon(t)$  são os ruídos independentes e identicamente distribuídos de acordo com a distribuição normal  $N(0, \sigma_\epsilon^2)$  e  $\sigma_j(t)$  é a raiz quadrada da variância do modelo descrito como:

$$Y(t) = \beta_0 + \beta_1 \text{mês}(t) + \beta_2 [\text{mês}(t)]^2 + \beta_3 [\text{mês}(t)]^3 + \beta_4 \text{ano}(t) + \beta_5 [\text{ano}(t)]^2 + \beta_6 Y(t-1) + \beta_7 Y(t-2) + \epsilon(t) \quad (2)$$

A variância de  $Y(t)$  do modelo descrito por (1) é descrita por  $\sigma_\epsilon^2 \exp\{h(t)\}$  onde  $h(t)$  depende de uma variável latente (não observada). Por simplicidade, neste estudo, assumiu-se que  $\sigma_\epsilon^2 = 1$  tal que

$$E[Y(t)] = \beta_0 + \beta_1 \text{mês}(t) + \beta_2 [\text{mês}(t)]^2 + \beta_3 [\text{mês}(t)]^3 + \beta_4 \text{ano}(t) + \beta_5 [\text{ano}(t)]^2 + \beta_6 Y(t-1) + \beta_7 Y(t-2)$$

uma vez que  $E[\sigma(t)\epsilon(t)] = 0$  e  $Var[Y(t)] = \sigma^2(t)$ . Por outro lado, a variável latente (variável não observada) é definida por um modelo auto-regressivo AR(2) descrito por:

$$h(1) = \mu + \zeta(1), t = 1 \quad h(2) = \mu + \phi_1 [h(1) - \mu] + \zeta(2), t = 2$$

$$h(t) = \mu + \phi [h(t-1) - \mu] + \phi_2 [h(t-1) - \mu] + \zeta(t), t = 3, 4, \dots, 156$$

em que  $\zeta(t)$  é o ruído com uma distribuição normal  $N(0, \sigma_\zeta^2)$  associada a variável latente. Dessa forma, as quantidades  $\sigma_\zeta^2, \mu, \phi_1$  e  $\phi_2$  são os parâmetros que devem ser estimados. Uma das grandes vantagens desse modelo é que se pode estimar, simultaneamente, a média e a variância mensal que pode ser de grande interesse quando se trabalha com a variável relativa à área queimada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Usando os dados mensais de área queimada das regiões do bioma Amazônico e também da região de Alberta no período de Janeiro de 2006 a Dezembro de 2018, foi estimado o modelo (1), considerando como distribuições a priori a distribuição normal,  $N(0, a^2)$ , para o parâmetro  $\mu$ , a distribuição beta,  $B(b, c)$ , para o parâmetro  $\phi_i, i = 1, 2$ , e a distribuição gamma,  $G(d, e)$ , para o parâmetro  $\zeta = 1/\sigma_\zeta^2$ , além de, para os parâmetros de regressão,  $\beta_j, j = 1, 2, \dots, 7$ , assumidas distribuições normais com hiper parâmetros conhecidos como distribuições a priori.

A análise estatística foi realizada no software R (R CORE TEAM, 2021) a partir da biblioteca *R2jags* (SU E YAJIMA, 2020) para se obter os resultados inferenciais das distribuições a posteriori de inferência. Os resultados obtidos para a região do bioma Amazônico são apresentados na Tabela 1 enquanto os resultados para a região de Alberta são apresentados na Tabela 2.

Dos resultados apresentados na Tabela 1, pode-se observar que  $\beta_2$  referente ao efeito quadrático do mês,  $\beta_3$  referente ao efeito cúbico do mês e  $\beta_6$  referente ao efeito de defasagem (mês anterior ao atual) tem efeitos significativos na área queimada em escala logarítmica uma vez que o valor zero não está contido nos intervalos de *high posterior density* (HPD) de 95%.

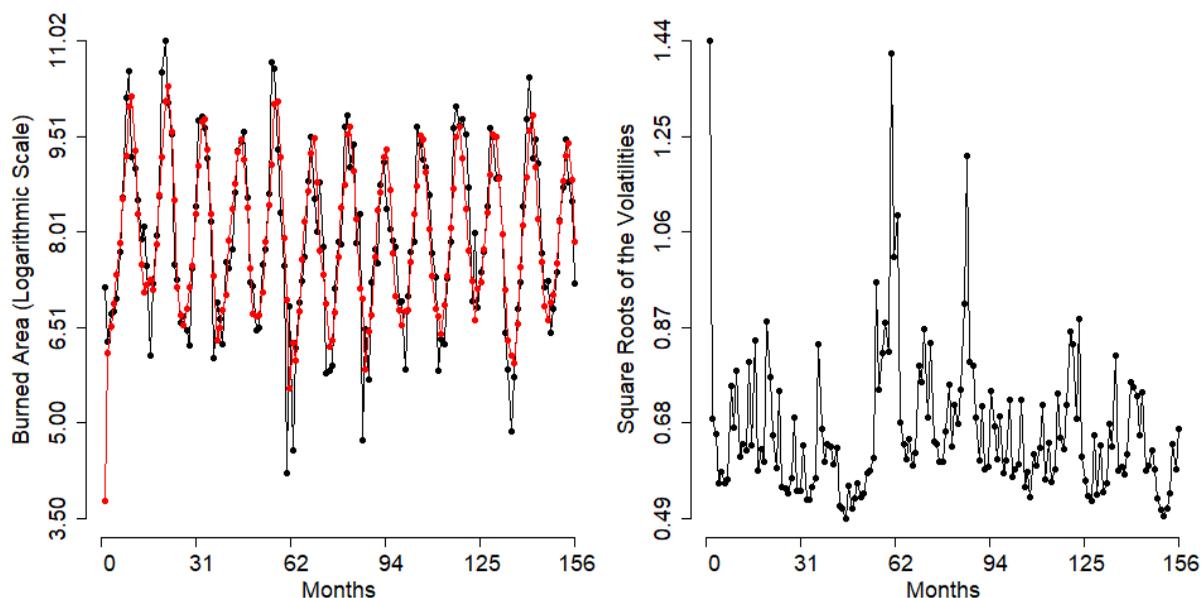
**Tabela 1** – Sumário a posteriori do ajuste do modelo proposto para a área queimada na região do bioma Amazônico (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018.

Parâmetros	Intervalos de 95% HPD			
	Média	Desvio-Padrão	Limite Inferior	Limite Superior
$\beta_0$	4.3384	0.6685	2.9729	5.5628
$\beta_1$	-0.6984	0.1919	-1.0708	-0.3189
$\beta_2$	0.2040	0.0336	0.1382	0.2719
$\beta_3$	-0.0121	0.0017	-0.0154	-0.0088

$\beta_4$	-0.0532	0.0588	-0.1669	0.0652
$\beta_5$	0.0024	0.0041	-0.0055	0.0105
$\beta_6$	0.3491	0.0706	0.2128	0.4877
$\beta_7$	0.0868	0.0536	-0.0186	0.1965
$\mu$	-0.9728	0.2064	-1.3857	-0.5856
$\phi_1$	0.2267	0.1514	0.0001	0.5080
$\phi_2$	0.1900	0.1440	0.0001	0.4740
$\tau$	1.7497	0.8216	0.5768	3.3182

Na Figura 1, é ilustrado a série temporal ajustada pelo modelo proposto onde é visto que o ajuste é preciso, indicando que o modelo pode ser utilizado pra fazer previsões a respeito da área queimada na região do bioma Amazônico.

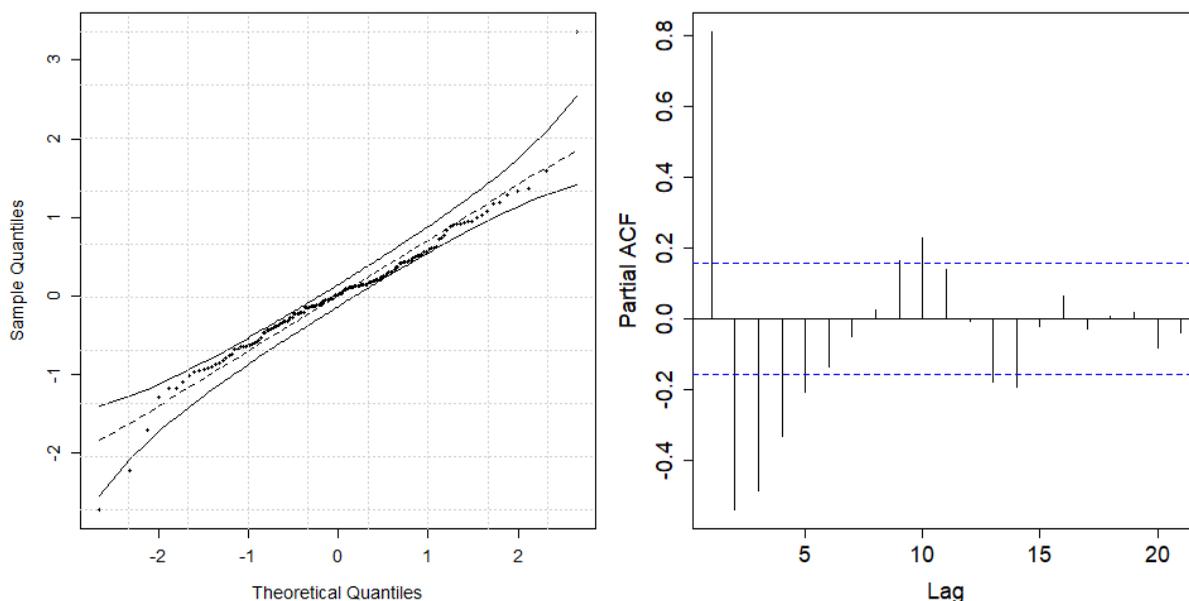
**Figura 1** – Série temporal ajustada assumindo o modelo proposto para o ajuste a área queimada da região do bioma Amazônico (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018 (painel esquerdo), e raiz quadrada das volatilidades do modelo proposto para o ajuste da área queimada da região do bioma Amazônico (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018 (painel direito).



A Figura 1 também ilustra a raiz quadrada das volatilidades estimadas para o modelo proposto em que se pode notar que as mesmas são baixas e com poucos picos o que indica uma boa qualidade de ajuste. Além disso, na Figura 2, é ilustrado o gráfico de resíduos e também o gráfico de autocorrelação para os resíduos do modelo proposto afim de validar os pressupostos do modelo proposto. Nestes gráficos, é possível notar que não há violação grave do

modelo proposto (grande parte dos pontos encontram-se dentro do envelope e o apenas 1 lag do PACF ultrapassa o valor 0,5), garantindo a qualidade de ajuste.

**Figura 2** – Envelope simulado e PACF para os resíduos do modelo proposto para o ajuste a área queimada da região do bioma Amazônico (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018.



No que tange a região de Alberta, conclui-se, dos resultados apresentados na Tabela 2, que  $\beta_2$  referente ao efeito quadrático do mês,  $\beta_3$  referente ao efeito cúbico do mês e  $\beta_6$  referente ao efeito de defasagem (mês anterior ao atual) tem efeitos significativos na área queimada em escala logarítmica uma vez que o valor zero não está contido nos intervalos de *high posterior density* (HPD) de 95%.

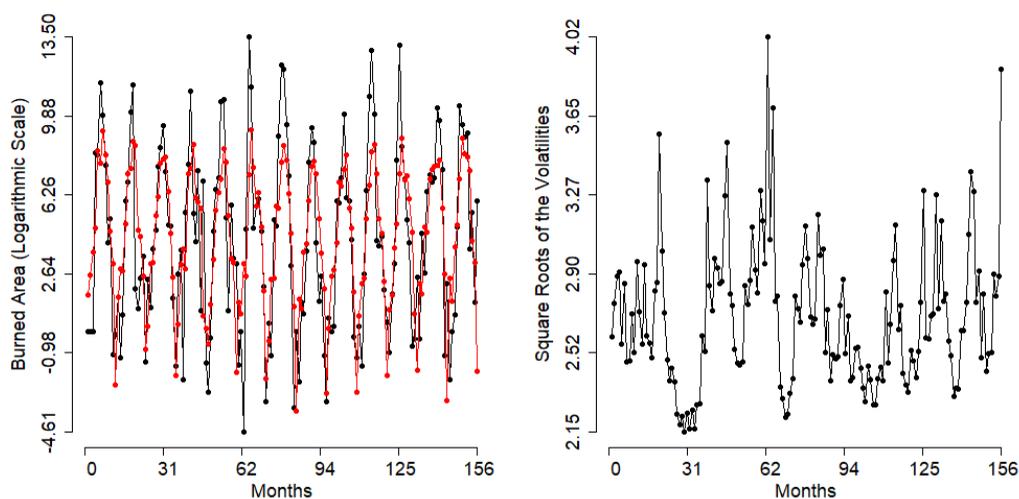
**Tabela 2** – Sumário a posteriori do ajuste do modelo proposto para a área queimada na região de Alberta (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018.

Parâmetros	Média	Desvio-Padrão	Intervalos HPD de 95%	
			Limite Inferior	Limite Superior
$\beta_0$	1.3393	0.6702	0.1264	2.7294
$\beta_1$	0.3916	0.2819	-0.1564	0.9387
$\beta_2$	0.2200	0.0738	0.0682	0.3564
$\beta_3$	-0.0224	0.0050	-0.0319	-0.0125

$\beta_4$	-0.2922	0.1832	-0.6513	0.0606
$\beta_5$	0.0203	0.0134	-0.0049	0.0467
$\beta_6$	0.3144	0.0858	0.1492	0.4840
$\beta_7$	-0.1613	0.0835	-0.3284	-0.0002
$\mu$	1.8540	0.1723	1.5054	2.1796
$\phi_1$	0.2510	0.1696	0.0001	0.5695
$\phi_2$	0.2075	0.1537	0.0001	0.5042
$\tau$	3.1558	1.3703	1.0112	5.8972

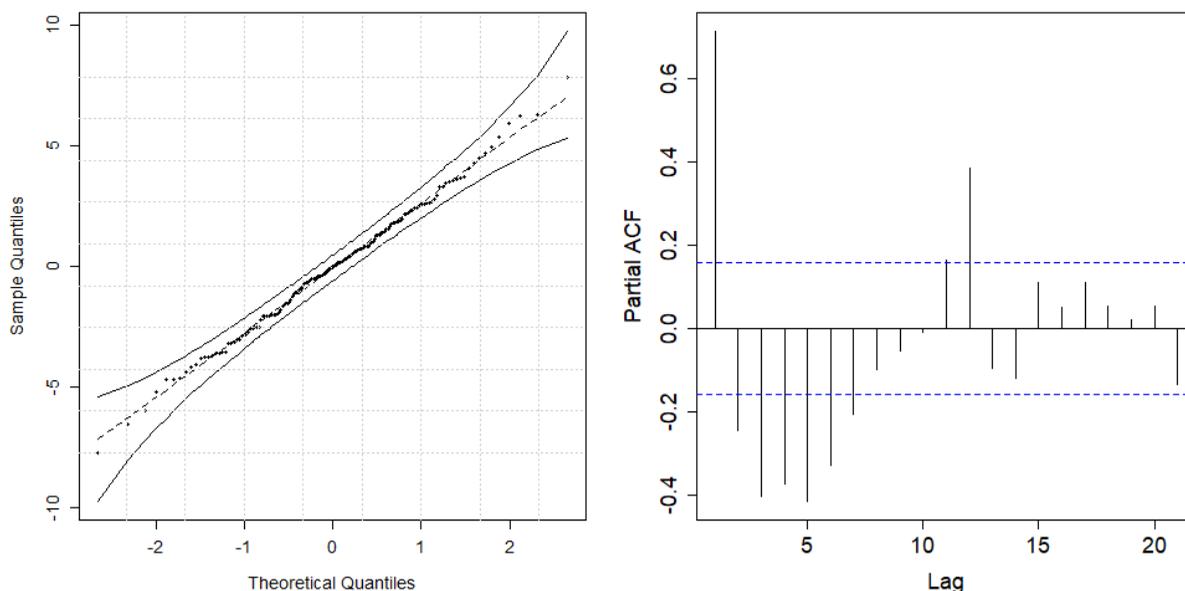
Na Figura 1, é ilustrado a série temporal ajustada pelo modelo proposto onde é visto que o ajuste é preciso, indicando que o modelo pode ser utilizado pra fazer previsões a respeito da área queimada na região de Alberta. A Figura 1 também ilustra a raiz quadrada das volatilidades estimadas para o modelo proposto em que se pode notar que as mesmas são baixas e com poucos picos o que indica uma boa qualidade de ajuste.

**Figura 3** – Série temporal ajustada assumindo o modelo proposto para o ajuste a área queimada da região de Alberta (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018 (painel esquerdo), e raiz quadrada das volatilidades do modelo proposto para o ajuste da área queimada da região de Alberta (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018 (painel direito).



Além disso, na Figura 2, é ilustrado o gráfico de resíduos e também o gráfico de autocorrelação para os resíduos do modelo proposto afim de validar os pressupostos do modelo proposto. Nestes gráficos, podemos notar que não há violação grave do modelo proposto (todos os pontos encontram-se dentro do envelope e o apenas 1 lag do PACF ultrapassa o valor 0,5), garantindo a qualidade de ajuste.

**Figura 4** – Envelope simulado e PACF para os resíduos do modelo proposto para o ajuste a área queimada da região de Alberta (em escala logarítmica) entre o período de janeiro de 2006 até dezembro de 2018.



Com o modelo proposto, foi possível observar que na região do bioma Amazônico, a área queimada tem picos entre julho e agosto e quedas entre janeiro e fevereiro (Figura 3). De acordo com Ribeiro et al., (2018), grande parte das queimadas na região da Amazônia são de origem antrópica. Ainda, vale ressaltar que a fisionomia vegetal da região Amazônica, caracterizada por uma floresta densa e úmida faz com que incêndios naturais sejam pouco frequentes. Desta forma, ocorre uma tendência na ignição do fogo em épocas naturalmente secas.

Segundo Dias et al., (2016) e Nobre et al., (2016) o desmatamento da Amazônia possui uma relação próxima com as queimadas da região. Assim, geralmente, é realizado o processo de corte raso nos meses que antecedem a estação seca visando favorecer o acúmulo de material vegetal seco. A partir disso, Martins et al., (2020) afirmam que nos meses de julho e agosto que costumam apresentar menores índices de precipitação, ocorre a maior incidência de incêndios criminosos, que se alastram por uma grande extensão territorial.

Quanto as áreas mais atingidas, destaca-se a região do arco do desmatamento, que se estende do Pará até Rondônia, local no qual ocorre atualmente a expansão da fronteira agrícola. Assim, os dados de área queimada geralmente acometem uma grande extensão territorial. Os dados demonstraram que, geralmente, no Brasil, as áreas queimadas são maiores (GARCIA et al., 2019).

Em contrapartida, na região de Alberta, a área queimada tem picos entre abril e maio, apresentando quedas entre outubro e novembro (Figura 1). Tal comportamento é explicado pelo próprio processo de renovação da floresta, uma vez que é comum a ocorrência de incêndios impulsioneados por causas naturais (BOWMAN et al., 2020). O dado obtido é corroborado por Tymstra et al., (2007) que afirma que a ocorrência de focos de calor inicia-se em abril e tende a diminuir até o mês de setembro.

Além disso, as estações do ano são bem divididas em Alberta. Com o derretimento das geleiras e a chegada da primavera, que se inicia em 20 de março, a paisagem se transforma, expondo uma vegetação seca susceptível a incêndios florestais naturais ou queimadas antrópicas. Assim, o fator climático é preponderante no regime de fogo da região (STRALBERG et al., 2018).

Entretanto, nos últimos anos, com o aumento da temperatura global, torna-se cada vez mais frequente a ocorrência de incêndios que abrangem uma grande extensão territorial, e aliado as características vegetacionais da floresta boreal, são de difícil controle. (PENG et al., 2011; KASISCHKE. TURETSKY, 2006) Em 2016, a queimada na região de Alberta ficou conhecido mundialmente pelo impacto ambiental e econômico ocasionado (PETOUKHOV et al., 2018).

Estudos corroboram com esta situação, tal como Bowman et al., (2020) estudando a influência das atividades humanas no regime e intensidade dos incêndios florestais, Robinne, Parisien e Flannigan (2016) avaliando a influência antrópica no regime da área queimada em Alberta, Canadá e Pickell et al., (2015) e Andison e McCleary (2014) verificando a sazonalidade das queimadas em Alberta de acordo com as características da região.

Neste contexto, é possível destacar a importância das características climáticas e vegetacionais em ambas as regiões, uma vez que a maior quantidade de área queimada corresponde a época com os menores índices de precipitação em ambas as áreas de estudo. Neste sentido, as medidas de monitoramento e controle de queimadas devem ser pautadas em estratégias mais efetivas que levem em consideração tais características (BOWMAN et al., (2020).

No Canadá, o programa de controle de queimadas de Alberta destaca-se no cenário mundial, uma vez que conta com monitoramento em tempo real, e brigadas específicas para conter incêndios naturais e antrópicos (MAMUJI; ROZDILSKY, 2018). Com isso, as áreas queimadas tendem a ser menores em extensão do impacto, ao se comparar o cenário da Amazônia Legal.

No Brasil, o INPE realiza o monitoramento em tempo real das queimadas, e por meio do produto elaborado por Libonati et al., (2015), é possível se analisar a área queimada para a região. Entretanto, políticas de controle e prevenção de queimadas na Amazônia brasileira ainda são incipientes. Apesar da aprovação do Novo Código Florestal em 2012 (Lei 12651/2012) é cada vez mais comum a ocorrência de queimadas em uma grande extensão territorial, o que acarreta em perda de biodiversidade, e inúmeros prejuízos ambientais, econômicos e sociais (DIAS et al., 2016, ARAGÃO et al., 2018).

Desta forma, as análises estatísticas contribuem para o entendimento da dinâmica florestal das queimadas, bem como possibilidade da realização previsão do comportamento do fogo. Alguns estudos focam em modelagem de dados, principalmente os de regressão para entender os incêndios, tal como Morello et al., (2020) e Robinne, Parisien e Flannigan (2016). Assim, os dados podem ser corroborados de modo a contribuir com modelagens ambientais viáveis que subsidiem a tomada de decisão por parte do poder público.

## 4. CONCLUSÃO

Em geral, quando se trabalha com séries temporais, os modelos de média móvel, autorregressivos (AR), e ARIMA são os tradicionais para se obter previsões e encontrar os efeitos sazonais, e, geralmente, tais modelos são utilizados para análises de epidemias ou dados financeiros.

Em dados relativos a incêndios ou área queimada, tais modelos também podem ser utilizados, porém, neste trabalho, a proposta de um modelo de regressão polinomial com os efeitos de defasagem se mostrou uma alternativa interessante para se trabalhar com dados temporais, especialmente porque conseguiu-se modelar a média e a variância ao mesmo tempo, que pode ser extremamente importante em dados ambientais relativos a incêndios uma vez que podemos ter uma visão maior de geoprocessamento e escala espacial destes tipos de dados, além da excelente precisão de ajuste do modelo proposto (Figuras 1 e 3).

Uma outra grande vantagem do modelo é poder incorporar informações a priori de especialistas para se obter resultados inferenciais mais precisos e, conseqüentemente, uma previsão maior da variável resposta. Neste contexto, o modelo permitiu entender a sazonalidade do fenômeno de queimadas na região de Alberta e da Amazônia Legal.

Os dados demonstraram uma possível influência das características climáticas e vegetacionais nos meses que apresentam uma maior quantidade de área queimada, uma vez que estes correspondem a épocas de menores índices de precipitação, o que acarreta em vegetação seca e susceptível a queimadas antrópicas e naturais.

Ainda, destaca-se que na região de Alberta, os incêndios também podem ocorrer de maneira natural, porém as atividades antrópicas tem intensificado o fenômeno. Tal fato também se estende para a Amazônia legal, sendo que no cenário brasileiro, é mais comum que as queimadas estejam associadas a atividades antrópicas.

Com isso, os dados podem subsidiar o poder público em medidas que visem controlar tais fenômenos, de modo a garantir a qualidade ambiental, tanto da floresta amazônica quanto da floresta boreal, ambas fundamentais para a regulação do clima em nível mundial.

Como estudos futuros, sugere-se aplicação de modelagem matemática baseada no modelo de regressão polinomial para a previsão do comportamento das áreas queimadas levando em consideração a origem do fogo, aspectos meteorológicos e características vegetacionais.

## REFERÊNCIAS

- ANDISON, David W.; MCCLEARY, Kris. Detecting regional differences in within-wildfire burn patterns in western boreal Canada. **The Forestry Chronicle**, v. 90, n. 1, p. 59-69, 2014.
- ARAGÃO, Luiz EOC et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.
- BASTOS, T. X. **O clima da Amazônia Brasileira Segundo Koppen**. EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido. Pará, 1982
- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, n. 1/2, 2000.
- BELL, W. R. An introduction to forecasting with time series models. **Insurance: Mathematics and Economics**, v. 3, n. 4, p. 241-255, 1984.
- BECK, H.E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, New Jersey, 2018.
- BOWMAN, D. M.J.S et al. Vegetation fires in the Anthropocene. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 10, p. 500-515, 2020.
- BOX, G. E. et al. Time series analysis, control, and forecasting . Hoboken. 2015..
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, 1998..
- DIAS, L. C.P et al. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global change biology**, v. 22, n. 8, p. 2887-2903, 2016.
- GELFAND, A. E.; SMITH, A. F.M. Sampling-based approaches to calculating marginal densities. **Journal of the American statistical association**, v. 85, n. 410, p. 398-409, 1990..
- GARCIA, A. S. et al. Assessing land use/cover dynamics and exploring drivers in the Amazon's arc of deforestation through a hierarchical, multi-scale and multi-temporal classification approach. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 15, p. 100233, 2019.
- JAAFARI, A. et al. Wildfire probability mapping: Bivariate vs. multivariate statistics. **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 618, 2019.
- KASISCHKE, E. S.; TURETSKY, M. R. Recent changes in the fire regime across the North American boreal region— Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. **Geophysical research letters**, v. 33, n. 9, 2006.
- LIBONATI, R. et al. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4  $\mu\text{m}$  MODIS Imagery. **Remote Sensing**, v. 7, p. 15782-15803, 2015.

- MARTINS, Guilherme et al. Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas no Brasil no Período de 2003 a 2018. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1558-1569, jun. 2020.
- MEYER, R.; YU, J. BUGS for a Bayesian analysis of stochastic volatility models. **The Econometrics Journal**, v. 3, n. 2, p. 198-215, 2000.
- MAMUJI, A. A.; ROZDILSKY, J. L. Wildfire as an increasingly common natural disaster facing Canada: understanding the 2016 Fort McMurray wildfire. **Natural Hazards**, v. 98, n. 1, p. 163-180, 2019.
- MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. Introduction to Time Series Analysis and Forecasting, A John Wiley & Sons. **Inc., New Jersey**, 2008.
- MORELLO, Thiago Fonseca et al. Predicting fires for policy making: Improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 169, p. 106501, 2020.
- NOBRE, Carlos A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.
- PENG, Changhui et al. A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada's boreal forests. **Nature climate change**, v. 1, n. 9, p. 467-471, 2011.
- PETOUKHOV, Vladimir et al. Alberta wildfire 2016: Apt contribution from anomalous planetary wave dynamics. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.
- PICKELL, P. D. et al. The spatial patterns of anthropogenic disturbance in the western Canadian boreal forest following oil and gas development. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 45, n. 6, p. 732-743, 2015.
- RIBEIRO, I.O et al. Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015. 2018 **Environmental Pollution** 243, 1008-1014
- ROBINNE, François-Nicolas; PARISIEN, Marc-André; FLANNIGAN, Mike. Anthropogenic influence on wildfire activity in Alberta, Canada. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, n. 11, p. 1131-1143, 2016.
- SANTOS, T. O. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017
- SEBER, G. A.F; LEE, A. J. **Linear regression analysis**. John Wiley & Sons, 2012.
- SMITH, A. F.M; ROBERTS, G. O. Bayesian computation via the Gibbs sampler and related Markov chain Monte Carlo methods. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 55, n. 1, p. 3-23, 1993.
- SPALDING, P. S. R. O.. et al. **Alberta**. 2017. Disponível em: <https://www.britannica.com/place/Alberta-pr> . Acesso em: 20 ago. 2017.
- STRALBERG, D. et al. Wildfire-mediated vegetation change in boreal forests of Alberta, Canada. **Ecosphere**, v. 9, n. 3, p. e 02156, 2018.

SILVA, Arthur Amaral et al. Anthropoc activities and the Legal Amazon: Estimative of impacts on forest and regional climate for 2030. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100304, 2020.

TYMSTRA, Cordy et al. Impact of climate change on area burned in Alberta's boreal forest. **International Journal of Wildland Fire**, v. 16, n. 2, p. 153-160, 2007.

TEAM, R. Core et al. R: A language and environment for statistical computing. 2013.

YU-SUNG SU AND MASANAO YAJIMA. R2jags: Using R to Run 'JAGS'. R package version 0.6-1. <https://CRAN.R-project.org/package=R2jags>. 2020.

## AN APPROACH OF FOREST FIRE IN DISTINCT CLIMATOLOGY REGIONS: AN ANALYSIS OF THE BURNED AREA IN THE LEGAL AMAZON AND ALBERTA PROVINCE

**ABSTRACT** – Forest fires, in general, could have a natural or anthropic origin. When they get out of control, they have the potential to cause environmental, social and economic impacts, requiring monitoring and mitigation strategies. Among the regions of the world most affected by hot spots, we can highlight the Legal Amazon, located in Brazil and the Province of Alberta, located in Canada. In this study, the main goal was to carry out a temporal analysis of the fires in these regions. For this purpose, a linear polynomial regression model and a stochastic volatility model based on data from the burned area provided by government agencies in both countries. As a result, the region of the Legal Amazon has the highest intensity of burning activities between the months of July and August, while in Alberta, the months of April and May stood out. Both periods correspond to the driest seasons, showing the possible relationship between meteorological variables and the burned area. In addition, the proposed model showed feasibility in understanding the behavior of fire in both regions, and could be applied in analyzes and forecasts of forest fires.

**KEYWORDS:** Statistical analysis; Burned area; Brazilian Amazon, Boreal Forest



# GESTÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

SEÇÃO 2

## CAPÍTULO 6

## A AÇÃO DOS EXTRATOS METANÓLICOS DE STRYPHNODENDRON ADSTRINGENS (MART) COVILLE SOBRE ALIMENTAÇÃO E REPRODUÇÃO DE PLUTELLA XYLOSTELLA L. (LEPIDOPTERA:PLUTELLIDAE)

**Jussara Gonçalves Fonseca**

<http://lattes.cnpq.br/2221915756804664>

**Fabricio Fagundes Pereira**

<http://lattes.cnpq.br/0887969828519150>

**Munir Mauad**

<http://lattes.cnpq.br/3165594857111851>

**Silvana de Paula Quintão Scalon**

<http://lattes.cnpq.br/8899775426231131>

**Rosilda Mara Mussury**

<http://lattes.cnpq.br/8308188020990220>

**RESUMO** – Esperando encontrar, na biodiversidade do Cerrado, plantas com potencial inseticida, buscamos espécies vegetais que ocorrem abundantemente e entre elas *Stryphnodendron adstringens* (Mart) Coville, tem sido utilizada para diversos fins no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. O objetivo foi analisar o efeito de extratos metanólico de folhas e casca do caule de barbatimão sobre a alimentação e oviposição de *Plutella xylostella* L. durante a fase imatura do desenvolvimento do inseto. Foi avaliado a preferência alimentar de larvas, supressão de oviposição e viabilidade dos ovos nas concentrações de 0,5 mg/mL; 1,0 mg/mL e 1,5 mg/mL e realiza-

do o screening fitoquímico do extrato. A preferência alimentar de *P. xylostella* por folhas de couve tratadas com o extrato metanólico da folha e casca do caule de *S. adstringens* na concentração de 1,5 mg/mL foi reduzida. Quanto a supressão de oviposição de *P. xylostella* todos os extratos foram antixenóticos sendo que para o extrato metanólico nas concentrações de 1,0 mg/mL e 1,5 mg/mL observou-se menor número de ovos e larvas eclodidas. Pelo screening fitoquímico foi constatada a presença de taninos, saponinas, esteróides, terpenos, alcalóides e flavonóides nos extratos tanto nas folhas como na casca e atribui-se a essas classes de compostos, com destaque aos taninos o efeito antixenótico.

**PALAVRAS-CHAVE:** barbatimão, plantas inseticidas, traça-das-crucíferas

## 1. INTRODUÇÃO

Os inseticidas sintéticos tem sido o principal método de controle de diversas pragas agrícolas, contudo, sua utilização indiscriminada resulta em sérios danos ao meio e organismos não alvo, pois além de

provocar o ressurgimento de populações resistentes, causa a contaminação da água, solo e alimentos (Neto Bandeira *et al.*, 2013; Poonsri *et al.*, 2015).

Resíduos tóxicos de inseticidas sintéticos podem ser encontrados em água, sedimentos, produtos alimentares e até mesmo no leite materno (Bempah *et al.*, 2011; Amoabeng *et al.*, 2014). Estimativas apontam que cerca de três milhões de trabalhadores agrícolas são envenenados por pesticidas no mundo, e aproximadamente 20.000 mortes são diretamente ligadas ao uso de agroquímicos (Dinham, 2003; Darko e Akoto, 2008).

Entretanto, nos últimos anos, tem-se notado maior interesse pelos produtos botânicos para o controle de pragas tem aumentado (Krinski *et al.*, 2014 Peres *et al.*, 2017). Substâncias com menores riscos à saúde humana e ao ambiente vem sendo avaliadas, fato este somado à demanda crescente por produtos alimentícios saudáveis e isentos de resíduos de agrotóxicos. Os problemas decorrentes da utilização de pesticidas químicos apontam para a necessidade de se desenvolver novos tipos de agentes de controle mais seletivos e menos agressivos ao homem e ambiente (Kim *et al.*, 2003; Correa e Salgado, 2011).

São inúmeras as plantas possuidoras de atividade inseticida, e muitas precisam ser estudadas e introduzidas, quando possível, nas propriedades agrícolas como forma alternativa de controle de pragas (Correa e Salgado, 2011). As plantas são ricas em substâncias bioativas, que são, frequentemente, seletivas. Muitas vezes são biodegradáveis e apresentam baixa ou nenhuma toxicidade a mamíferos, degradam rapidamente, possuem baixo efeito residual, disponibilidade local e pouca resistência (Isman 2006; Kudom *et al.*, 2011; Dong *et al.*, 2013; Ladhari *et al.*, 2013).

A resistência a quase todos os grupos de inseticidas sintéticos fez com que *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) seja considerada o principal inseto-praga na cultura das brássicas mundialmente (Furlong *et al.*, 2013; Poonsri *et al.*, 2015). Dessa forma, visando diminuir os danos da praga em questão muitos métodos estão sendo utilizados, dentre eles o uso de plantas como potenciais inseticidas.

Existem várias famílias de plantas que têm potencial no controle de insetos, como por exemplo, as Piperáceas, Meliáceas, Fabaceas, Anonáceas, Rubiaceae, etc (Kraikrathok *et al.*, 2013; Poonsri *et al.*, 2015; Peres *et al.*, 2017). As plantas podem atuar no controle das pragas como anti-alimentar (Koul, 2005; Koul, 2008; Couto *et al.*, 2016), inibidoras de oviposição (Torres *et al.*, 2006), reguladoras de crescimento (Koul, 2012), repelentes (Koul *et al.*, 2008) e inseticidas.

O *Stryphnodendron adstringens* (Mart) Coville, Barbatimão, é uma espécie pertencente à Família Fabaceae e distribui-se amplamente pelo Cerrado brasileiro (Mendonça *et al.*, 1998). O barbatimão é rico em taninos, produtos naturais de composição polifenólica produzidos pelos metabolitos secundários das plantas contra ao ataque de insetos as plantas (Covington, 1997).

Diante do exposto, o presente trabalho analisou o efeito de extratos metanólico de folhas e casca do caule de barbatimão sobre a alimentação e oviposição de *Plutella xylostella*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório Interação Inseto Planta (LIIP) da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais (FCBA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, Mato Grosso do Sul. Larvas e pupas de *P. xylostella* foram coletadas em campos de brássicas e mantidas em condições laboratoriais controladas  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $55 \pm 5\%$  de UR e fotoperíodo de 12 h. Os adultos provenientes foram acondicionados em gaiola plástica sendo alimentados com solução de mel a 10 mg/mL, fornecida em algodão. Discos de couve sobre papel filtro umedecido foram colocados no interior da gaiola para oviposição. Após a oviposição, as folhas com os ovos foram colocadas em vasilhas de plástico de dimensões 30 x 15 x 12 cm, esterilizada, até passarem para a fase de pupa.

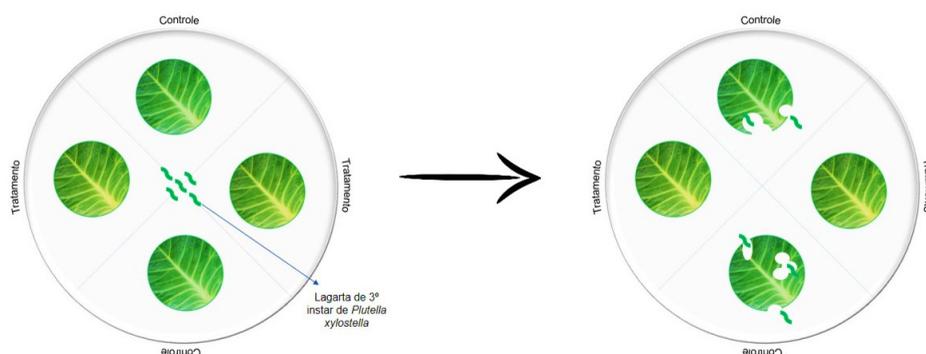
Larvas de primeiro, segundo, terceiro e quarto instar foram alimentadas com folhas de couve orgânica (*Brassica oleraceae* var *acephala*), higienizadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% e posteriormente lavadas em água corrente, secas ao ambiente e depositadas sobre papel toalha nos recipientes de manutenção. O método de condução da criação estoque de *P. xylostella* foi relatado por Torres *et al.*, (2006).

Folhas de *Stryphnodendron adstringens* foram coletadas na fazenda Santa Madalena (Cerrado) no município de Dourados- MS ( $22^\circ 14' \text{ S}$ , longitude de  $54^\circ 9' \text{ W}$  e 452m de altitude), no período das 7 às 9 horas. Para o ensaio, utilizou-se folhas totalmente expandidas as quais foram coletadas entre o terceiro e quarto nó e a casca do caule. A espécie foi identificada com base na comparação com exsiccatas depositadas no herbário da UFGD (DDMS) sob o número 4815.

Para o preparo do extrato metanólico, folha e casca foram secas em estufa de circulação forçada de ar durante três dias na temperatura máxima de  $40^\circ\text{C}$  ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ). Após esse período, o material foi triturado em moinho de faca tipo Willey (MA340/A) até a obtenção de um pó fino e submetidas à extração por maceração com metanol 100% (PA) por 10 dias. O extrato filtrado foi concentrado em rotavapor a  $60^\circ\text{C}$ , à pressão reduzida (Freitas *et al.*, 2014). O produto obtido nesse processo foi dissolvido em água destilada nas concentrações de 0,5 mg/mL; 1,0 mg/mL e 1,5 mg/mL para posterior realização dos testes.

Para o teste de preferência alimentar, quatro discos de folhas de couve de 4cm de diâmetro foram colocados no interior de cada placa de 15 cm de diâmetro, sendo duas tratadas com extratos e duas com água destilada, dispostos aos pares de forma cruzada e equidistantes (teste com chance de escolha) (Figura 1). No centro de cada placa foram liberadas cinco larvas de 3º instar (caracterizadas na criação estoque pela cápsula cefálica).

Figura 1. Disposição dos discos de couve tratados (extrato) e não tratados (controle) para avaliação da preferência alimentar de *Plutella xylostella* L.



Após 24 horas, as larvas foram retiradas e a área dos retângulos foi medida com o auxílio do software ImageJ (Shneider *et al.*, 2012).

A variável avaliada neste teste foi o consumo foliar, obtido pela diferença entre a área inicial da folha e a área que restou após a alimentação das larvas. Para cada tratamento foram utilizadas 5 repetições, sendo cada repetição constituída por 10 subamostras. Para este teste, o delineamento estatístico foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (partes da planta) x 3 (concentrações) e os dados do consumo foliar foram analisados estatisticamente pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo software SANEST.

O efeito produzido pelo extrato vegetal na preferência alimentar foi avaliado utilizando o índice de preferência (IP) de Kogan e Goeden (1970), sendo classificado como estimulante se o índice for maior do que 1, neutro se igual a 1 e deterrente se menor do que 1, através da fórmula:  $IP = 2A/(M+A)$ , onde: A = área das amostras foliares tratadas com extrato; M = áreas das amostras foliares não tratados.

Para o teste de supressão de oviposição, discos foliares de couve foram dispostos no interior das placas de petri e imersos nas diferentes soluções de extratos metanólicos por 30 segundos e postos para secagem sobre papel toalha ao ar livre. O mesmo foi feito em água destilada para o tratamento testemunha. Posteriormente, os discos foram dispostos de forma circular no interior de uma gaiola plástica, em laboratório, liberando-se em seguida 60 adultos (não sexados) de *P. xylostella* com até 12 horas de idade, oriundos da criação estoque do laboratório. Estes foram mantidos por quatro dias para oviposição. Foi avaliado o número de ovos em cada tratamento com 24, 48, 72 e 96 horas, sendo que, a cada intervalo, um novo disco foliar foi colocado na gaiola. Os ovos provenientes de cada tratamento foram acondicionados em placas de Petri até a eclosão das larvas. Para determinar a supressão de oviposição, o delineamento adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 (3 concentrações e testemunha) x 2 (parte da planta) x 4 (períodos) com 5 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Foi

realizado teste de homogeneidade de variância para verificação da normalidade dos dados. Os dados de contagem de ovos foram transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$ .

Os ovos de *P. xylostella* obtidos no teste de supressão de oviposição foram colocados em placas de Petri, em laboratório, e sobre estes foram borrifados os extratos metanólico de folha e casca de barbatimão nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,0 mg/mL. No quinto dia após a aplicação, procedeu-se à contagem do número de larvas eclodidas em cada placa. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (parte da planta) e 4 tratamentos (3 concentrações e testemunha), sendo os dados obtidos analisados pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi realizado teste de homogeneidade de variância para verificação da normalidade dos dados. Quando não normal os dados foram transformados. Dados do número de larvas foram, transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$ .

A prospecção fitoquímica do extrato aquoso e metanólico da folha e casca do caule da espécie *S. adstringens* foi realizada de acordo com metodologia preconizada por Matos (1988).

### 3. RESULTADOS

Não houve interação significativa para parte da planta e concentração, apenas o fator concentração foi significativo (Quadrado Médio do Resíduo = 0,34024;  $P \leq 0,01$ ). Extratos metanólicos de folhas e casca do caule de barbatimão foram deterrentes na concentração 1,5 mg/mL, sendo o maior índice encontrado ao se utilizar extratos de folhas (Tabela I).

**Tabela I.** Média das áreas dos discos foliares de couve (5 repetições com 10 subamostras) consumidos por *Plutella xylostella*, tratados com extratos metanólicos de folhas e casca do caule de barbatimão. Temp.:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR:  $70 \pm 10\%$  e fotofase: 12 horas.

Parte da Planta	Concentração (mg/mL)	Área Foliar Consumida (cm <sup>2</sup> )		IP(+EP)	Classificação <sup>1</sup>
		Água	Extrato		
Folha	0,5	0,53	0,73	$1,16 \pm 0,10$ a	estimulante
	1,0	0,35	0,49	$1,10 \pm 0,006$ a	estimulante
	1,5	0,73	0,37	$0,69 \pm 0,053$ b	deterrente
Casca	0,5	0,67	0,91	$1,19 \pm 0,04$ a	estimulante
	1,0	0,72	0,98	$1,20 \pm 0,13$ a	estimulante
	1,5	0,64	0,60	$0,99 \pm 0,14$ a	deterrente
CV(%)	21,75				

<sup>1</sup>IP =  $2A/(M+A)$ ; onde A = área consumida das amostras foliares tratadas e M = áreas consumidas das amostras foliares não tratadas. Classificação: estimulante se o índice for maior do que 1; neutro se igual a 1 e deterrente se menor do que 1.CV(%); Coeficiente de variação. EP = erro padrão.

Para supressão de oviposição observa-se interação significativa para as variáveis concentração e tempo (Quadrado Médio do Resíduo = 703,747\*;  $P \leq 0,05$ ). O número médio de ovos de *P. xylostella* tratados com os extratos metanólico da folha ( $47 \pm 4$ ) e casca do caule ( $44 \pm 4$ ) foram semelhantes.

O extrato metanólico na concentração de 1,0 mg/mL e 1,5 mg/mL (folha e casca) de barbatimão, nos períodos avaliados, reduziram o número de ovos de *P. xylostella* ao longo do tempo nas amostras foliares até as 96 horas de avaliação (Tabela II).

**Tabela II.** Número médio de ovos (+EP) (dias) de *Plutella xylostella* nos diferentes tratamentos testados e períodos. Temp.:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR:  $70 \pm 10\%$  e fotofase: 12horas.

Tratamento	Tempo de oviposição			
	24	48	72	96
Concentração (mg/mL)				
Controle	108,9 $\pm$ 1,42 aA	94 $\pm$ 1,37 aB	83,1 $\pm$ 1,044 aB	43,6 $\pm$ 1,3 aC
0,5	78,1 $\pm$ 0,48 bA	57,1b $\pm$ 0,75 bB	59,8 $\pm$ 0,94 bB	28,0 $\pm$ 0,58 bC
1,0	52,5 $\pm$ 1,32 cA	30,1 $\pm$ 0,83 cB	14,2 $\pm$ 1,43 cC	4,5 $\pm$ 2,0 cC
1,5	34,8 $\pm$ 0,79 dA	25,7 $\pm$ 0,87 cA	8,7 $\pm$ 1,96 cB	4,3 $\pm$ 2,6 cB
CV(%)	24,89			

Letra minúscula comparam colunas e as maiúsculas na linha. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. EP = erro padrão.

Todos os extratos foram antixenóticos sendo que o número de larvas eclodidas foi menor para a concentração de 1,5 mg/mL (Tabela III).

**Tabela III.** Supressão de oviposição de adultos de *Plutella xylostella* L. nas diferentes concentrações do extrato metanólico de folha e casca de barbatimão. Temp.:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , UR:  $70 \pm 10\%$  e fotofase: 12horas

Parte da Planta	Concentração (mg/mL)	Número de ovos		IP (+EP)	Classificação
		Extrato	Água		
Folha	0,5	59,05	65,92	0,94 $\pm$ 0,027a	oviposição suprimida
	1	27,15	65,92	0,58 $\pm$ 0,026b	oviposição suprimida
	1,5	18,75	65,92	0,44 $\pm$ 0,023bc	oviposição suprimida

	0,5	52,45	65,92	0,89 ± 0,046a	oviposição suprimida
Caule	1	23,50	65,92	0,52 ± 0,024bc	oviposição suprimida
	1,5	18,00	65,92	0,43 ± 0,022c	oviposição suprimida
CV(%)	11,55				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna comparam diferentes concentrações e partes da planta pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. EP = erro padrão.

Para a viabilidade dos ovos observa-se efeito significativo para os fatores isolados (concentração e parte da planta). A parte da planta interferiu na viabilidade dos ovos com média para casca do caule (29,05±0,16) e folha (23,30±0,07). Observou-se que em maiores concentrações há redução no número de larvas eclodidas (Tabela IV).

**Tabela IV.** Número médio de ovos (provenientes de 60 indivíduos não sexados) e larvas eclodidos (+EP) de *Plutella xylostella* L. tratados com diferentes concentrações dos extratos metanólico de folhas e casca do caule de barbatimão. Temp.: 25±1°C, UR: 70 ± 10% e fotofase: 12 horas.

Concentração (mg/mL)	Número de ovos	Número de larvas eclodidas	Viabilidade dos ovos
Controle	329.60 ±4,15 a	76,40±4,18 a	23% b
0,5	223,00 ±3,54 b	53,60±4,25 b	24% ab
1,0	101,30 ±2,83 c	31,30±2,82 c	33% a
1,5	73,50 ±10,75 c	17,20±1,72 d	24% ab
CV (%)	13,46	24,02	32,53

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. EP = erro padrão.

Pelo screening fitoquímico foi constatada a presença de taninos, saponinas, esteróides, terpenos, alcalóides e flavonóides nos extratos tanto nas folhas como na casca (Tabela V).

**Tabela V.** Screening fitoquímico do extrato aquoso de *Stryphnodendron adstringens*.

Classe de Metabólito Secundário	Parte da planta	
	Casca	Folha
Flavonóides	+	+
Terpenos	+	+
Alcalóides	+	+
Saponinas	+	+
Esteroides	+	+
Tanino	+	+

(+) presente

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os compostos orgânicos presentes na folha e casca do caule de *S. adstringens* reduziram o índice de preferência alimentar, o número médio de ovos e o número médio de larvas eclodidas.

Os tratamentos do extrato metanólico da folha de *S. adstringens* na concentração de 1,5mg/mL decorreu em menor valor de índice de preferência alimentar (0,69), enquanto para o extrato metanólico da casca do caule os tratamentos não diferiram entre si, mas observa-se deterrência na concentração de 1,5mg/mL.

De forma geral, a medida que a concentração do extrato metanólico aumenta, a quantidade de substâncias bioativas extraídas existentes é maior, decorrendo em inibição alimentar, como também observado por Torres *et al.* (2001). Plantas com substâncias supressoras ou deterrentes são capazes de provocar diversas ações, entre elas a inibição alimentar nos insetos e redução da motilidade intestinal (Jesus *et al.*, 2011). Costa *et al.* (2004) mencionaram que os extratos vegetais também podem causar a redução do número de ovos e inibição da oviposição o que corrobora com os dados encontrados no presente estudo, acreditando, no entanto, que se o tempo de acompanhamento da oviposição fosse mais prolongado, provavelmente teríamos observado também redução da viabilidade dos ovos.

Em *P. xylostella*, quanto a supressão de oviposição, observa-se que o número de ovos ao longo do tempo nas amostras foliares foi reduzindo até as 96 horas de avaliação, fato já esperado. No entanto, o extrato metanólico na concentração de 1,0 mg/mL e 1,5 mg/mL apresentaram reduzido números de ovos e não diferiram entre si. Observações de Medeiros *et al.* (2005) identificaram que o extrato aquoso a 10% da casca de barbatimão não apresentou efeito deterrente na oviposição de *P. xylostella*, enquanto que Jesus *et al.* (2011) observaram que os extrato aquoso da folha de *S. adstringens* a 10% proporcionou efeito deterrente na oviposição de adultos de *P. xylostella*. Essa variação ocorre em função do tipo de substância extratora

utilizada na preparação do extrato e parte da planta utilizada. Para o extrato metanólico de folha e casca do caule de *S. adstringens* o efeito da supressão de oviposição foi observado para todas as concentrações testadas com consequência na redução do número de ovos e larvas eclodidas. Considerando que a base da reprodução é a proliferação de uma população de insetos daninhos às culturas (Dong *et al.*, 2013), a busca por plantas com potencial inseticida deve ser estimulada e outros estudos com abordagem fitoquímicos são importantes.

Conforme Renwick e Chew, (1994) as sensilas quimiorreceptores reconhecem uma variedade de compostos vegetais, que estimulam comportamentos específicos, como a localização de plantas hospedeiras. Diante disso, e com base nos dados observados, acreditamos que as respostas de *P. xylostella*, observadas para as características biológicas na concentração de 1,5 mg/mL, estão relacionadas aos compostos químicos ativos metabolizados pela planta, causando a antixenose, reduzindo a preferência por alimentação e supressão de oviposição por *P. xylostella*.

Na análise fitoquímica realizada foi identificada a classe de composto tanino. Essa classe de composto é relatada na literatura como uma das substâncias que causam mortalidade aos insetos (Ayres *et al.*, 1997). Os referidos autores verificaram que a rápida mortalidade de insetos tratados com taninos condensados parece ser devido à atividade tóxica dos taninos e não pela inibição da digestibilidade. Posteriormente, Mairesse, (2005) afirmou que a bioatividade do barbatimão sobre insetos está atribuída à capacidade dos taninos em se ligar às proteínas, dificultando a digestão. Além disso o tanino reduz significativamente o crescimento e a sobrevivência de insetos (Holetz *et al.*, 2005), como os taninos estão presentes no barbatimão e é um dos compostos de maior concentração, atribui se a ele os efeitos deterrentes observados em *P. xylostella*.

Dessa forma, estudos com concentrações maiores que possam levar a morte o inseto nas fases iniciais de desenvolvimento e estudos de antibiose são recomendados pois as substâncias químicas ativas presentes no extrato são promissoras.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD o apoio logístico e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a bolsa concedida ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

- Amoabeng BW, Gurr MG, Gitau CW, Stevenson PC (2014). Cost: **benefit analysis of botanical insecticide use in cabbage: Implications for smallholder farmers in developing countries**. *Crop Protec* 57: 71-76.
- Ayres MP, Clausen TP, MacLean Jr SF, Redman AM, Reichardt PB (1997). **Diversity of structure and antiherbivore activity in condensed tannins**. *Ecolog*, 78: 1696-1712.

- Bempah CK, Buah-Kwofie A, Denutsui D, Asomaning J, Tutu AO (2011). **Monitoring of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables and Related Health Risk Assessment in Kumasi Metropolis, Ghana.** *Res J Environ Earth Sci* 3(6): 761-771.
- Correa JCR, Salgado HRN (2011) **Atividade inseticida das plantas e aplicações:** revisão. *Rev Bras Plantas Med* 13(4): 500-506.
- Couto IFS, Fuchs ML, Pereira FF, Mauad M, Scalon SP, Dresch DM, Mussury RM (2016). **Feeding preference of *Plutella xylostella* for leaves treated with plant extracts.** *An Acad Bras Ciênc* 88(3): 1781-1789.
- Covington AD (1997). **Modern tanning chemistry.** Chemical Society Reviews, Cambridge, 26: 111-126.
- Darko G, Akoto O (2008). **Dietary intake of organophosphorus pesticide residues through vegetables from Kumasi, Ghana.** *Food Chem. Toxicol.* 46(12): 3703-3706.
- Dinham B (2003). **Growing vegetables in developing countries for local urban populations and export markets: problems confronting small-scale producers.** *Pest Manag Sci* 59(5): 575–582.
- Dong X, Zhai Y, Hu M, Zhong G, Huang W, Zheng Z, Han P (2013). **Proteomic and Properties Analysis of Botanical Insecticide Rhodojaponin III-Induced Response of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (L.).** *PLoS ONE* 8(7): e67723.
- Freitas AF, Pereira FF, Formagio ASN, Lucchetta JT, Vieira MC, Mussury RM (2014). **Effects of Methanolic Extracts of *Annona* Species on the Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).** *Neotrop Entomol* 43: 446–452.
- Furlong MJ, Wright DJ, Dosdall LM (2013). **Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress, and Prospects.** *Ann Rev Entomol* 58: 517-541.
- Holetz FB, Ueda-Nakamura T, Dias Filho BP, Mello JCP, Morgado-Díaz JA, Toledo CEMD, Nakamura CV (2005). **Biological effects of extracts obtained from *Stryphnodendron adstringens* on *Herpetomonas samuelpessoai*.** *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, 100(4): 397-401.
- Isman MB (2006) **Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world.** *Ann Rev Entomol* 51: 45–66.
- Jesus FG, de Paiva LA, Gonçalves VC, Marques MA, Boiça Junior AB (2011) **Efeito de plantas inseticidas no comportamento e biologia de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae).** *Arq Inst Biol São Paulo*, 78(2): 279-285.
- Kim SI, Roh JY, Kim DH, Lee HS, Ahn YJ (2003). **Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*.** *J Stored Prod Res* 39(3): 293-303.
- Kogan M, Goeden RD (1970). **The host-plant range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae).** *Ann Entomol Soc Am* 63(4): 1175-1180.
- Koul O, Walia S, Dhaliwal GS (2008). **Essential oils as green pesticides: potential and constraints.** *Biopesticides Int* 4(1): 63–84.

- Koul O (2005). *Insect Antifeedants*. CRC Press, Boca raton, 2005, 1010 p.
- Koul O (2008). **Phytochemicals and insect control: An antifeedant approach**. *Crit Rev Plant Sci* 27(1): 1–24.
- Koul O (2012). **Plant biodiversity as a resource for natural products for insect pest management**. In GEOFF M. GURR, STEVE D. WRATTEN & BILL E. Snyder (eds.), *Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management*, John Wiley and Sons Ltd., Australia, 2012, p. 85-105.
- Kraikrathok C, Ngamsaengi S, Bullangpoti V, Pluempanupat W, Koul O (2013). **Bio Efficacy of Some Piperaceae Plant Extracts Against *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae)**. *Com Agric Appl Biol Sci* 78(2): 305-309.
- Krinski D, Massarolli A, Machado M. (2014). **Potencial inseticida de plantas da família Annonaceae**. *Rev Bras Frutic* 36(1): 225-242.
- Kudom AA, Mensah BA, Botchey MA (2011) **Aqueous neem extract versus neem powder on *Culex quinquefasciatus*: Implications for control in anthropogenic habitats**. *J Insect Sci* 11(142): 1-9.
- Ladhari A, Laarif A, Omezzine F, Haouala R (2013) **Effect of the extracts of the spiderflower, *Cleome arabica*, on feeding and survival of larvae of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis***. *J Insect Sci* 13(61): 1-14.
- Mairesse LAS (2005) **Avaliação da bioatividade de extratos de espécies vegetais, enquanto excipientes de aleloquímicos**. 2005. 330f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- Matos FJA (1988) **Introdução à Fitoquímica Experimental**. Fortaleza, Edições UFC.141p.
- Medeiros CAM, Boiça Júnior AL, Torres AL (2005). **Efeito de extratos aquosos de plantas na oviposição da traça-das-crucíferas, em couve**. *Bragantia* 64(2): 227-232.
- Mendonça RC, Felfili JM, Walter BMT, Silva Júnior MC, Rezende AV, Filgueiras TS, Nogueira PE (1998) **Flora vascular do Cerrado**. In: Sano, S.; Almeida, S. (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.287-556.
- Peres LL, Sobreiro AI, Couto IFS, Silva RM, Pereira FF, Heredia-Vieira SC, Cardoso CA, Mauad M, Scalón SPQ, Verza SS, Mussury RM (2017) **Chemical Compounds and Bioactivity of Aqueous Extracts of *Alibertia* spp. in the Control of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae)**. *Insects* 8(4): E125.
- Bandeira G. N, Camara CAG, Moraes MM, Barros R, Muhammad S, Akhtar Y (2013) **Insecticidal activity of *Muntingia calabura* extracts against larvae and pupae of diamondback, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae)**. *J King Saud University* 25: 83-89.
- Poonsri W, Pempanupat W, Chitchirachan P, Bullangpoti V, Koul O (2015). **Insecticidal alkanes from *Bauhinia scandens* var. *horsfieldii* against *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae)**. *Ind Crops Prod* 65: 170-174.
- Renwick J, Chew F (1994). **Oviposition behavior in Lepidoptera**. *Ann Rev Entomol* 39: 377-400.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012). **NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis**. *Nat Methods* 9: 671-675.
- Stoppelli IMBS, Magalhaes CP (2005). **Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos**. *Ciênc Saúde Col* 10: 91-100.

Torres, AL, Barros R, Oliveira JV (2001). **Efeito de extratos aquosos de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae).** *Neotrop Entomol* 30(1): 151-156.

Torres AL, Boiça Júnior AL, Medeiros CAM, Barros R (2006). **Effect of aqueous extracts of *Azadirachta indica* (A. Juss), *Melia azedarach* (L.) and *Aspidosperma pyrifolium* (Mart.) on the development and oviposition of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae).** *Bragantia* 65: 447-457.

Torres AL (2000). **Efeito de extratos aquosos de plantas na biologia de *Plutella xylostella* (L. 1758) (Lepidoptera: Plutellidae).** 58f. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

## METHANOLIC EXTRACTS OF STRYPHNO DENDRON ADSTRINGENS (MART) COVILLE ON FOOD AND REPRODUCTION OF PLUTELLA XYLOSTELLA L. (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

**ABSTRACT** – Expecting to find, in the Cerrado biodiversity, plants with insecticidal potential, many plant species we searched and among them, *Stryphnodendron adstringens* (Mart) Coville has been used for several purposes in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. The objective was to determine the feeding and oviposition preference of *Plutella xylostella* L. for methanolic extracts of Barbatimão leaves and bark, during the immature phase of insect development. The feeding preference of larvae, oviposition and egg viability were evaluated at extract concentrations of 0.5 mg / mL, 1.0 mg / mL and 1.5 mg / mL and the phytochemical screening of the extract was performed. The feeding preference of *P. xylostella* for cabbage leaves treated with methanolic extract (made of leaf and bark of *S. adstringens*) in concentration of 1.5 mg / mL was weak. As for the oviposition preference of *Plutella xylostella*, all the extracts were antioxenotic but the use of methanolic extracts at concentrations of 1.0 mg / mL and 1.5 mg / mL resulted in fewer eggs and larvae hatched. Phytochemical screening showed the presence of tannins, saponins, steroids, terpenes, alkaloids and flavonoids in the extracts of both leaves and bark. The antioxenotic effect is attributed to these compounds, with emphasis to tannins.

**KEYWORDS:** barbatimão, insecticidal plants, cruciferous moth

## CAPÍTULO 7

INTENÇÃO DE COMPRA DE BICICLETAS  
COM QUADRO DE MATERIAIS  
PLÁSTICOS RECICLADOS: UM ESTUDO  
EMPÍRICO COM A TEORIA DO  
COMPORTAMENTO PLANEJADO

**Marcelo Rosolem Luchetti**

<http://lattes.cnpq.br/4797017729033797>

Universidade Nove de Julho, São Paulo - SP

**Leonardo Vils**

<http://lattes.cnpq.br/3969955798466284>

Universidade Nove de Julho, São Paulo - SP

**RESUMO** – Este artigo aborda um estudo sobre a análise da intenção de compra de bicicletas de passeio com quadro de materiais plásticos reciclados usando a Teoria do Comportamento Planejado (TCP). Foi realizado um levantamento com aplicação de questionário estruturado on-line para analisar a influência de atitudes, normas subjetivas e percepção de controle sobre o comportamento na intenção de compra das bicicletas em questão. Os resultados indicam a relação positiva entre os construtos da TCP e a intenção de compra de bicicletas com quadros de materiais plásticos reciclados. Entretanto, ao simular escolhas de bicicletas com variação nos preços, um único construto, a percepção de controle sobre o comportamento exerceu influência na escolha. Diante destes achados destaca-se a importância da

conscientização dos consumidores sobre as questões ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria do Comportamento Planejado, Intenção de Compra, Materiais Plásticos Reciclados, Comportamento.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do *Homo sapiens* há cerca de 300 mil anos, recursos retirados da natureza são fonte de sobrevivência ou de utilização para a fabricação de artefatos. Habitats foram destruídos e espécies foram extintas, enquanto o mundo era moldado para atender às necessidades do *Homo sapiens*. À medida que recursos naturais vão se tornando escassos surge a necessidade de modificar e criar materiais. Novos produtos, como o plástico passam a ser usados em diversas atividades do ser humano. Segundo Harari (2015, p. 18), “Nosso planeta, um dia verde e azul, está se tornando um shopping center de plástico e concreto”.

O descarte inapropriado do plástico é responsável por diversos danos ao meio ambiente e à população, afetando

consideravelmente a saúde humana (DIAS *et al.*, 2017). A crescente dificuldade de acomodação de resíduos nas metrópoles faz com que estímulos à reutilização, redução do consumo e reciclagem venham sendo adotadas. (MARQUES *et al.*, 2017). Assim, a reciclagem de materiais torna-se gradualmente uma das atividades mais importantes de proteção ambiental (CANDIAN, 2007).

Dentre os materiais plásticos passíveis de reciclagem, destacam-se as embalagens de PET (*polyethylene terephthalate*), ou, simplesmente PET, um polímero termoplástico desenvolvido para fabricação de fibras por químicos ingleses Whinfield e Dickson, em 1941 (GONÇALVES-DIAS, 2006). Ainda que mais conhecido por seu uso na fabricação de garrafas plásticas, o material tem origem na indústria têxtil, como substituto das fibras de algodão durante a Segunda Guerra Mundial (ABIPET, 2012). Em meados da década de 1970, as primeiras embalagens PET foram produzidas nos Estados Unidos e Europa. Em 1993 o polímero começou a ser usado como embalagem de refrigerantes, água e óleo no Brasil. (ABIPET, 2012).

Uma das iniciativas de reprocessamento de PET foi desenvolvida por Juan Muzzy (2018) ao moldar PET reprocessado para fabricação de quadros de bicicletas. Segundo o inventor, quadros construídos a partir da reciclagem de garrafas PET são sustentáveis, duradouros, não enferrujam e amortecem naturalmente as imperfeições do solo. Assim, quadros de bicicletas feitos a partir de plástico reciclado podem ser uma alternativa aos quadros convencionais, além de ser uma forma de transformar resíduos sólidos em um novo produto (MUZZICYCLES, 2016).

A bicicleta é considerada um modal sustentável por ser um veículo de menor custo, tanto de aquisição quanto de manutenção, potencialmente reduzindo os gastos familiares. Ao se locomover com bicicletas, indivíduos além de contribuírem para a redução da poluição praticam atividade física ao mesmo tempo que se locomove (REVISTA BICICLETA, 2018). A adoção de bicicletas com quadro de materiais plásticos reciclados, assim, ao diminuir o descarte inadequado e reduzir, quando em substituição à locomoção por meio de veículos com motor à explosão, a emissão de poluentes, é um comportamento favorável ao meio ambiente, um comportamento pro-ambiental.

Comportamentos são derivados de intenções, assim, a partir dos pressupostos da Teoria do Comportamento Planejado (AZJEN, 1985), neste trabalho foi avaliada a intenção de compra de bicicletas com quadros fabricados com plásticos reciclado. De acordo com Azjen (1985) a Teoria do Comportamento Planejado, intenções comportamentais são formadas por atitudes, normas subjetivas e percepção de controle sobre o comportamento.

Atitudes são avaliações duradouras, positivas ou negativas, em relação a um objeto de atitude. Normas subjetivas referem-se ao quanto um indivíduo acredita que um comportamento é valorizado por pares ou grupos de referência. Percepção de controle sobre o comportamento, por sua vez, diz respeito ao grau que indivíduos acreditam ter as condições necessárias para a adoção de um comportamento (AZJEN, 1985).

A Teoria do Comportamento Planejado (TCP) apresenta-se como um importante modelo e teoria utilizada em pesquisas que atuam com o componente comportamento. Nesta pesquisa

foram analisadas, sob a ótica da TCP (AZJEN, 1985) a influência de atitudes em relação a produtos ao meio ambiente, normas subjetivas, percepção de controle na intenção de compra de bicicletas de passeio com quadros construídos a partir de materiais plásticos reciclados.

Com a escassez de recursos naturais e o aumento do consumo de produtos industrializados a reciclagem de materiais plásticos é uma prática importante para a preservação do meio ambiente (CANDIAN, 2007). Para minimizar os impactos da poluição, surgiu o modelo circular de fabricação, onde os bens regressam ao ciclo de produção ao invés de serem descartados como resíduos, mediante a logística reversa, com o reaproveitamento, a reciclagem de materiais plásticos, atingindo o ciclo fechado de produção (BARBOSA; MANCINI, 2018). Assim, um quadro de bicicleta fabricado com materiais plásticos reciclados contribui para a preservação ambiental. (MUZZICYCLES, 2016).

Para compreender o comportamento de consumo de uma bicicleta de passeio com quadro de materiais plásticos reciclados, este estudo tem como objetivo analisar, por meio da Teoria do Comportamento Planejado a intenção de compra de bicicletas com quadros fabricados a partir de materiais plásticos, preponderantemente garrafas PET, reciclados.

## 2. HIPÓTESES DA PESQUISA

### 2.1. ATITUDE

Nos primórdios da pesquisa sobre atitude, a maioria dos pesquisadores aceitou como certo que o comportamento humano é conduzido por atitudes sociais. De fato, o campo da psicologia social era originalmente definido como estudo científico de atitudes (THOMAS; ZNANIECKI, 1918; WATSON, 1925 apud AJZEN; FISHBEIN, 2005, p. 3) porque se assumia que a atitude era a chave para compreender o comportamento humano.

Na teoria somatória de atitude de Fishbein, mais tarde renomeada para o modelo valor-expectativa (FISHBEIN; AJZEN, 1975), as avaliações ou atitudes das pessoas em relação a um objeto são determinadas por suas crenças prontamente acessíveis sobre o objeto, onde uma crença é definida como a probabilidade subjetiva de que o objeto tem um certo atributo.

Em conformidade com o modelo de valor da expectativa, a atitude geral de uma pessoa em relação a um objeto psicológico é determinada pelos valores subjetivos ou pelas avaliações dos atributos associados ao objeto e pela força dessas associações. Tais atitudes são adquiridas automaticamente e inevitavelmente à medida que formamos crenças sobre os atributos do objeto e como os valores subjetivos desses atributos se tornam ligados ao objeto (AJZEN, 2012).

As pessoas podem formar muitas crenças diferentes sobre um objeto, mas presume-se que elas atendem apenas a um número relativamente pequeno em um dado momento. São essas crenças prontamente acessíveis que são consideradas os determinantes cruciais da atitude de uma pessoa (AJZEN, 2012).

A atitude refere-se ao grau de avaliação pessoal, que em relação ao comportamento questionado, pode ser favorável ou desfavorável AJZEN (1991). Atitude pode ser considerada como um conceito que possui características variadas: cognitivo (conhecimentos, crenças), afetivo (gostos, preferências) e comportamental. Sua mensuração envolve uma sequência de variáveis internas ao indivíduo, sustentadas pelos três componentes citados que se relacionam constantemente (AJZEN; FISHBEIN, 2000).

A concepção de que as atitudes se baseiam em informações acessíveis na memória implica um grau de aceitabilidade. Isso não quer dizer que as pessoas desenvolvam atitudes de maneira racional, realizando uma revisão imparcial de todas as informações relevantes e integrando-as de acordo com as regras formais da lógica. Pelo contrário, o modelo do valor da expectativa reconhece que as crenças, ainda que muitas vezes bastante precisas, podem ser distorcidas por uma variedade de processos cognitivos e motivacionais, e podem ser baseadas em informações inválidas ou seletivas, serem egoístas ou não corresponderem à realidade. Todavia, uma vez que um conjunto de crenças é formado e está acessível na memória, ele fornece a base cognitiva a partir da qual as atitudes são assumidas como seguindo prontamente de uma maneira coerente e consistente (AJZEN, 2012).

A atitude é o primeiro antecedente da intenção comportamental e é determinada pelas crenças dos indivíduos com relação às implicações de executar o comportamento, ou seja, as crenças comportamentais, repleta por seu conhecimento sobre essas implicações, como valorações do resultado. A atitude está associada à norma subjetiva e parece ter impacto direto na intenção comportamental (AJZEN; FISHBEIN, 1980). Assim, propomos que:

H1: A atitude em relação ao meio ambiente está positivamente relacionada à intenção de compra de bicicletas com quadro de materiais plásticos reciclados.

## 2.2. NORMAS SUBJETIVAS

Normas subjetivas, se caracterizam pelos aspectos da interferência do meio social sobre a intenção e o comportamento a ser desempenhado e, no que lhe diz respeito, à assimilação das expectativas que indivíduos ou grupos têm a respeito de seus comportamentos. São ocasionadas por influências da pressão social de membros da família, colegas, opinião pública, grupos de referência e instituições sobre o comportamento dos indivíduos. A norma subjetiva que irá prevalecer é encontrada com a combinação das crenças normativas e a motivação pessoal em agir em conformidade com as expectativas sociais (PEIXOTO, 2007).

De acordo com Ajzen e Fishbein (1980), a norma subjetiva refere-se à influência de outras pessoas importantes no desempenho do comportamento em questão de um indivíduo. As crenças normativas referem-se a probabilidade de indivíduos ou grupos importantes aprovar ou desaprovar a realização de determinado comportamento (AJZEN, 1991). As crenças normativas resultam em pressão social percebida ou uma norma subjetiva (AJZEN, 2012).

A Norma Subjetiva controla o comportamento provocado pelo desejo de agir como os outros acham que você deve agir. Às vezes, atos socialmente dignos, por exemplo, reciclagem de papel e garrafas, trazem sentimentos gerados internamente de auto-estima ou orgulho, enquanto a incapacidade de agir dessa maneira pode evocar sentimentos de vergonha (KALAFATIS et al.,1999).

O constructo norma subjetiva é subjetivo porque é o que o agente pensa, e é uma norma, porque é o entendimento do agente sobre o que os outros pensam que ele deve fazer (EAST, 1997). Assim, propomos que:

H2: Normas subjetivas estão positivamente relacionadas à intenção de compra de bicicletas com quadro de materiais plásticos reciclados.

### 2.3. PERCEPÇÃO DE CONTROLE SOBRE O COMPORTAMENTO

Ajzen (1991) refere-se ao constructo percepção de controle sobre o comportamento como indispensável na TCP. As crenças de controle dão origem ao controle comportamental percebido (AJZEN, 2012). Para os indivíduos, geralmente os comportamentos são tidos como metas sujeitas a intervenções e indecisões e a percepção de controle sobre o comportamento serve para analisar até que momento o indivíduo leva em consideração fatores, situações e problemas pessoais que afetam positiva ou negativamente no andamento da ação. Percepção de controle sobre o comportamento tem uma relação direta com o comportamento real de compra, desse modo é considerado o determinante mais importante para explicar as intenções de compra (AJZEN, 1991).

Similar a atitudes e normas subjetivas, presume-se que as percepções de controle comportamental prossigam consistentemente de crenças prontamente acessíveis, neste caso, crenças sobre recursos e obstáculos que podem facilitar ou interferir no desempenho de determinado comportamento (AJZEN, 2012).

De acordo com Ajzen (2002), um alto nível de controle percebido deve fortalecer a intenção de uma pessoa de realizar o comportamento e aumentar o esforço e a perseverança. Desta forma, a percepção de controle sobre o comportamento pode afetar o comportamento indiretamente, por seu impacto na intenção. E quando o controle comportamental percebido é verídico, ele fornece informações úteis sobre o controle real que uma pessoa pode exercer na situação e, portanto, pode ser usado como um preditor direto adicional de comportamento. Assim, propomos que:

H3: A percepção de controle sobre o comportamento está positivamente relacionada à intenção de compra de bicicletas com quadro de materiais plásticos reciclados.

Desse modo, as intenções comportamentais surgem ao combinar os três constructos da Teoria do Comportamento Planejado (AJZEN; FISHBEIN, 2000). Como regra geral, quanto mais positiva a atitude e a norma subjetiva em relação um comportamento, mais forte será a

percepção de controle sobre o comportamento e maior será a intenção de um indivíduo em realizar um comportamento em questão (AJZEN, 1991).

Em harmonia com a TCP, a relação entre intenção e comportamento é ponderada pelo controle comportamental percebido, de modo que as intenções predizem melhor o comportamento quando o controle percebido é alto, em vez de baixo (AJZEN, 2012).

### 3. MÉTODO

#### 3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

O interesse principal deste estudo é a analisar a intenção de compra de bicicletas de passeio com quadro de materiais plásticos reciclados na cidade de São Paulo e Interior utilizando a Teoria do Comportamento Planejado.

Esta pesquisa pode ser classificada, quanto a sua natureza, como uma pesquisa aplicada, uma vez que é motivada pela necessidade de identificar as tecnologias utilizadas na fabricação de bicicletas com quadros de materiais plásticos e analisar a influência de atitudes em relação a produtos reciclados, normas subjetivas e percepção de controle na intenção de compra de bicicletas de passeio com quadro de materiais plásticos, ou seja, tem uma finalidade prática (VERGARA, 1998).

Para entender o comportamento de consumo de uma bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados, a pesquisa será quantitativa de relação causal. A abordagem será quantitativa, pois seus resultados podem ser quantificados. Conforme as amostras, que normalmente são grandes e consideradas exclusivas da população, os resultados são uma foto real da população pesquisada. Para relatar as causas de um acontecimento e as relações entre variáveis, a pesquisa quantitativa utiliza a matemática (GIL, 2015).

No que se refere aos objetivos do estudo, esta pesquisa enquadra-se como explicativa, uma vez que, segundo Gil (2015), pretende-se identificar os fatores que determinam fenômenos, explica o porquê das coisas, apresenta em geral as formas de pesquisa experimental e pesquisa antes e pós fato.

A análise desta pesquisa, aborda a escala de intenção de compra, visto que é uma técnica usada para medir a probabilidade autorrelatada de que um indivíduo comprará um produto com base nas informações mostradas. É uma escala de três itens e sete pontos (BURTON et al., 1999).

As tomadas de decisões são melhoradas nas organizações com a criação do conhecimento, utilizando de técnicas de análise multivariada. Esta técnica se refere a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob averiguação. Assim, a fim de ser considerada como análise multivariada, seja qual for análise simultânea de mais do que duas variáveis (HAIR et al., 2009).

## 3.2. PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS

Esta pesquisa utilizou o método de coleta de dados Survey Interseccional, ou seja, coleta de dados foi realizada em um único intervalo de tempo, onde o recebimento das respostas do questionário ocorre durante um intervalo de dias, que, segundo Babbie (1999), por ser um meio guiado pelas limitações lógicas, favorece a aplicação do pensamento lógico e esclarece as razões e as raízes dos fatos, os atributos e as correlações constatadas.

A coleta dos dados deste estudo foi realizada por levantamento de questionário estruturado, para um público alvo que consiste em adultos (16 anos ou mais) aplicado *on-line* via internet, em amostras de conveniência a usuários de ciclo faixa e participantes de competições de mountain bike que utilizam a bicicleta para passear, praticar esportes e trabalhar, na cidade de São Paulo, região metropolitana e Interior de São Paulo, com o objetivo de identificar a percepção deles sobre o tema abordado neste trabalho (BABBIE, 1999). Foram utilizadas diversas ferramentas para distribuição dos questionários, como E-mail, Facebook, LinkedIn, e a principal sendo via Whatsapp, enviado a mais de 1.000 pessoas.

O questionário foi dividido em três partes. A primeira parte solicitou aos respondentes que fornecessem alguns dados pessoais (sociodemográfico). Na segunda parte, foi apresentado o objeto do estudo (uma bicicleta com quadro de materiais de plásticos reciclados), na sequência foram apresentadas duas bicicletas urbanas (de passeio), uma convencional com quadro de alumínio e outra com quadro de materiais plásticos reciclados com preço igual, sem preço e preços que variavam de 5%, 10% e 15% para mais e para menos para escolha dos participantes. Na terceira parte, as questões foram concebidas como perguntas fechadas, em que os participantes responderam em uma escala Likert de cinco e sete pontos respectivamente.

### 3.2.1. Operacionalização Das Variáveis

A mensuração da aplicação de escalas de atitude, normas subjetivas e percepção de controle foi representado por variáveis independentes e por meio de intenção de compra para a variável dependente.

Os indivíduos avaliaram a probabilidade de intenção de comprar uma bicicleta de modelo com quadro inteiramente fabricado com plástico reciclado como (muito desfavorável / muito favorável, muito improvável / muito provável, muita incerteza / muita certeza, muito baixa / muito alta), em quatro escala de cinco pontos (MARTIN, et al., 2003). A avaliação da intenção de compra de bicicletas de passeio com quadro de materiais plásticos reciclados como foi como variável dependente, mensurada por meio de uma escala adaptada de Wu et al. (2015), apresentada na Tabela 1. O resultado da variável dependente é a soma das médias das variáveis independentes.

**Tabela 1** – Escala de medida da Intenção de Compra

Escala	Item	Âncora inferior	Âncora superior
IC1	O quanto você estaria favorável a comprar o modelo com quadro inteiramente fabricado com plástico reciclado, quando decidir comprar uma bicicleta?	1 - Muito desfavorável	5 - Muito favorável
IC2	O quanto é provável que você compre o modelo com quadro inteiramente fabricado com plástico reciclado, quando decidir comprar uma bicicleta?	1 - Muito improvável	5 - Muito provável
IC3	O quanto você tem de certeza de que compraria o modelo com quadro inteiramente fabricado com plástico reciclado, quando decidir comprar uma bicicleta?	1 - Muita incerteza	5 - Muita certeza
IC4	Qual é a chance de você comprar o modelo com quadro inteiramente fabricado com plástico reciclado, quando decidir comprar uma bicicleta?	1 - Muito baixa	5 - Muito alta

Fonte: Adaptado de Wu et al. (2015).

Cada constructo foi medido usando vários itens, a percepção de controle sobre o comportamento *PCE-Perceived Behavior Control*, crenças e atitudes em relação ao meio ambiente *EAB-Environment Attitude Beliefs* e norma subjetiva *SN-Subjective Norm* foram avaliadas em uma escala do tipo *Likert* de sete pontos, com pontos finais (1) “discordo totalmente” para (7) “concordo totalmente”, adaptada de Milfont e Duckitt (2010).

O envolvimento e conhecimento com bicicletas foram avaliados e medidos com quatro escalas (muito inexperiente / muito experiente, conheço muito pouco / conheço muito, muito desinformado / muito informado, comprador novato / comprador experiente) de sete pontos (MARTIN et al., 2003).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram analisados com o auxílio dos *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 25. Cerca de 1000 participantes receberam o link com as questões, dos 833 participantes que visualizaram a pesquisa, 54,74% (456) iniciaram e deste número 39,48% (180) não completaram, desta forma a taxa de conclusão foi de 60,52% (276) respostas consideradas válidas por terem respondido o questionário até o final.

Tabela 2 – Correlação entre as variáveis da TCP

		Intenção	Percepção de Controle	Atitude	
Spearman's rho	Intenção	Correlation Coefficient	1,000	,385**	,345**
		Sig. (2-tailed)	.	,000	,000
		N	275	275	275
	Percepção de Controle	Correlation Coefficient	,385**	1,000	,671**
		Sig. (2-tailed)	,000	.	,000
		N	275	275	275
	Atitude	Correlation Coefficient	,345**	,671**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	.
		N	275	275	275
	Normas Subjetivas	Correlation Coefficient	,278**	,576**	,545**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000
		N	275	275	275

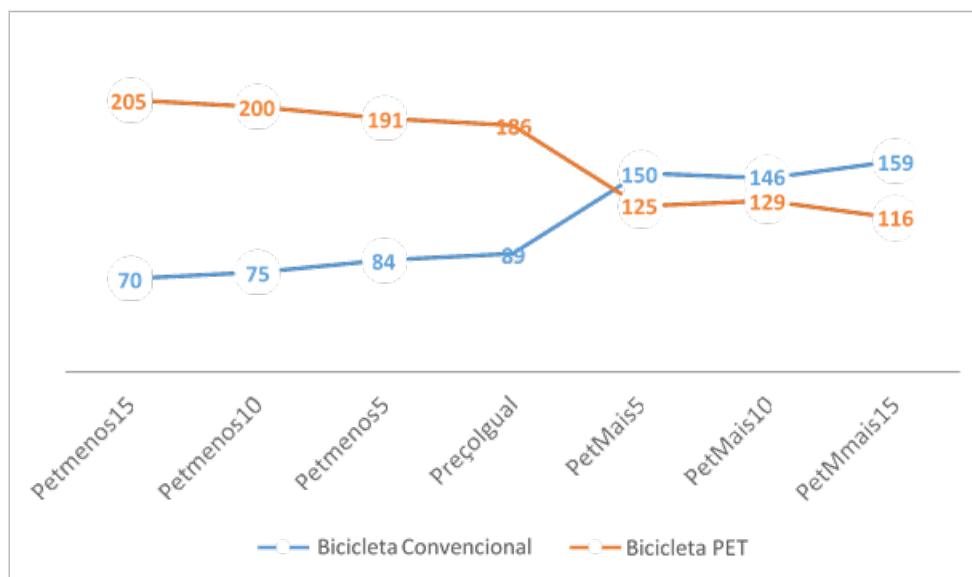
Fonte: Preparada pelos Autores

As hipóteses de pesquisa foram testadas por meio da correlação entre os construtos da Teoria do Comportamento Planejado e a Intenção de Compra. Os três construtos, Atitude, Normas Subjetivas e Percepção de Controle, apresentaram correlação positiva e com significativa com a Intenção de Compra de bicicletas com quadro produzido a partir de materiais plásticos reciclados.

A sensibilidade ao preço da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados foi testada em intervalos de 5 pontos percentuais com o preço variando entre -15% e +15% em relação ao preço de R\$ 1.350,00 de uma bicicleta com quadro de alumínio com as mesmas configurações.

A escolha da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados cresce em função do decréscimo de preços em relação ao modelo convencional sugerindo que os construtos da Teoria do Comportamento Planejado têm sua influência contrabalançada pela sensibilidade ao preço.

Figura 1. Variação de escolhas geral



Fonte: Preparada pelos Autores

Para testar a relação entre cada um dos construtos da Teoria do Comportamento Planejado e a escolha da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados com diferentes níveis de preços adotou-se o teste Qui-Quadrado. Novas variáveis de Atitude, Normas Subjetivas e Percepção de Controle foram criadas em termos binários, alto e baixo, a partir do corte dos resultados médios de cada construto pela mediana. Em seguida cada um dos construtos foi avaliado em relação aos diferentes níveis de preços.

Tabela 3 – Qui-Quadrado aplicado para o método proposto

Variáveis	Itens de Escolha				
	Sem Preço	Preço Igual	PET + 5%	PET + 10%	PET + 15%
Atitude	,004	,035	,078	,122	,219
Percepção de Controle	,003	,000	,002	,008	,016
Norma Subjetivas	,056	,111	,184	,466	,548

Fonte: Preparada pelos Autores

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3 é possível inferir que a Atitude em Relação ao Meio Ambiente, ainda que apresentando correlação positiva e significativa com a intenção de compra da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados tem sua influência restrita a níveis de preços mais baixos do que os de uma bicicleta convencional com as mesmas configurações. Os resultados vão ao encontro dos encontrados na literatura a respeito da sensibilidade ao preço na compra de produtos verdes ou adoção de comportamentos

pró-ambientais. As normas subjetivas, ou seja, a aprovação de um determinado comportamento por parte de pares ou grupos de influência não influencia a escolha pela bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados.

Ajzen (1991), enfatiza que a Percepção de Controle sobre o Comportamento é apontada como constructo mais importante para esclarecer as intenções de compra por existir uma relação imediata com o comportamento real de compra. O único construto da Teoria do Comportamento Planejado associado a escolha da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclado é a Percepção de Controle, ou seja, aqueles que percebem dispor das condições necessárias à adoção de um comportamento favorável ao meio ambiente e que acreditam que as ações individuais são importantes são os menos sensíveis às variações nos preços.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados deste artigo indicaram que atitudes, normas subjetivas e percepção de controle sobre o comportamento tem influências distintas na escolha por uma bicicleta com quadro de plástico reciclado. Os três construtos apresentaram correlação positiva e significativa com a intenção de compra da bicicleta com quadro de materiais plásticos reciclados. Entretanto, ao se simular escolhas de compra com distintos níveis de preços o único construto a exercer influência na escolha foi o de Percepção de Controle sobre o Comportamento.

A TCP se adapta bem para descobrir as intenções que antecedem o comportamento em pesquisas relacionadas a intenção de compra de uma bicicleta com quadro PET.

Em termos práticos, os achados desta pesquisa oferecem implicações para profissionais de marketing. Em conjunto, os resultados sugerem que é importante aumentar a conscientização dos consumidores sobre as questões ambientais e, principalmente, destacar que o comportamento individual é possível, importante e contribui positivamente para o meio ambiente. Os resultados do estudo indicam que a ênfase dos profissionais de marketing deve ser ter como foco, assim, que “uma andorinha faz verão”.

Dentre as limitações da pesquisa, como em qualquer outro estudo usando uma amostra de conveniência, os resultados deste estudo podem não representar os consumidores em geral. Uma replicação deste estudo com consumidores mais genéricos de ampla gama em suas características pode ser necessária para atestar a aplicabilidade do modelo para o público em geral. Da mesma maneira, o modelo apresentado para este estudo foi testado apenas para decisões de compra de bicicletas com quadro de plástico reciclável, logo, as correlações entre as variáveis podem variar com diferentes tipos de comportamento pro-ambientais, como reciclagem ou outro tipo comportamento.

## REFERÊNCIAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. Resina PET - História. 2012. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=46>. Acesso em 17/10/2018.

- AJZEN, I. From intentions to actions: A theory of planned behavior. In: **Action control**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1985. p. 11-39.
- AJZEN, I. The theory of planned behavior. **Organizational behavior and human decision processes**, v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.
- AJZEN, I.; FISHBEIN, M. Attitudes and the attitude-behavior relation: Reasoned and automatic processes. **European review of social psychology**, v. 11, n. 1, p. 1-33, 2000.
- AJZEN, I. Residual effects of past on later behavior: Habituation and reasoned action perspectives. **Personality and social psychology review**, v. 6, n. 2, p. 107-122, 2002.
- AJZEN, I.; FISHBEIN, M. **Understanding attitudes and predicting social behaviour**. 1980
- AJZEN, I.; FISHBEIN, M. The influence of attitudes on behavior. **The handbook of attitudes**, v. 173 n. 221, 2005.
- AJZEN, I. **The theory of planned behaviour: Reactions and reflections**. 2011..
- AJZEN, I. Martin Fishbein's legacy: The reasoned action approach. **The Annals of the American Academy of Political and Social Science**, v. 640, n. 1, p. 11-27, 2012.
- BABBIE, E. **Métodos de pesquisas de survey**. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 1999.
- BURTON, S.; GARRETSON, J. A.; VELLIQUETTE, A. M. Implications of accurate usage of nutrition facts panel information for food product evaluations and purchase intentions. **Journal of the Academy of Marketing science**, v. 27, n. 4, p. 470-480, 1999..
- CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo..
- DIAS, C. et al., **Ecobike-Pedalando para o sustentável. Análise Crítica do sistema estadual de gerenciamento online de resíduos sólidos-sigor-módulo: Construção civil-proposições para resíduos de construção civil e demolição do pequeno gerador** 16, 107.. (2017).
- FISHBEIN, M.; AJZEN, I. **Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research**. 1975. Reading, Massachusetts: AddisonWesley Publishing..
- GIL, A C.. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 2015.
- GONÇALVES-DIAS, S. L. F.. Há vida após a morte: um (re) pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 3, p. 463-474, 2006..
- HARARI, Y. N. **Uma breve história da Humanidade Sapiens**. Porto Alegre: L&PM, 2015.
- HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009..
- KALAFATIS, S. P. et al. Green marketing and Ajzen's theory of planned behaviour: a cross-market examination. **Journal of consumer marketing**, 1999.

MARQUES, E. A. F. et al. Gestão da coleta seletiva de resíduos sólidos no Campus Pampulha da UFMG: desafios e impactos sociais. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 3, p. 131-149, 2017.

MARTIN, B.A.S et al. Conclusion explicitness in advertising: The moderating role of need for cognition (NFC) and argument quality (AQ) on persuasion. **Journal of advertising**, v. 32, n. 4, p. 57-66, 2003.

MILFONT, T. L.; DUCKITT, J. The environmental attitudes inventory: A valid and reliable measure to assess the structure of environmental attitudes. **Journal of environmental psychology**, v. 30, n. 1, p. 80-94, 2010.

MUZZICYCLES **Apresentação Muzzicycles**. (2016). Disponível em: <http://www.muzzicycles.com.br/PDFs/Apresentacao-Muzzicycles07-05-2016.pdf>. Acesso em: 15/04/2018.

PEIXOTO, F. C. **Estudo do comportamento planejado na escolha da faculdade: uma aplicação ao contexto itabirano**. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Administração. FUMEC. Belo Horizonte, MG.

RECICLOTECA **Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente**. Tipos de Plásticos. (2016). Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/plastico/cadeia-da-reciclagem-de-plasticos/>. Acesso em 26/08/2018.

ROAZZI, A. et al. Da Teoria da Ação Racional à Teoria da Ação Planejada: Modelos para explicar e prever o comportamento. **Revista AMAzônica**, v. 13, p. 175-208, 2014..

WU, J.-H. et al. Green purchase intentions: An exploratory study of the Taiwanese electric motorcycle market. **Journal of Business Research**, v. 68, n. 4, p. 829-833, 2015..

## PLASTIC MADE BICYCLES BUYING INTENTIONS: A THEORY OF PLANNED BEHAVIOR EMPIRICAL STUDY

**ABSTRACT** – This research had the objective of analyzing the intention to buy walking bicycles with a frame of recycled plastic materials using the Theory of Planned Behavior (TCP). A survey was carried out with the application of a structured online questionnaire to analyze the influence of attitudes, subjective norms and perception of control over the behavior in the intention to purchase the bikes in question. The results showed the positive relationship between TCP constructs and the intention of buying bicycles with recycled plastic frames. However, when simulating bicycle choices with price changes, a single construct, the perception of control over behavior exerted influence on the choice. In view of these findings, the importance of consumer awareness of environmental issues is highlighted.

**KEYWORDS:** Theory of Planned Behavior, Buying intention, Recycled Plastic Materials, Behavior

## CAPÍTULO 8

# AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM TRECHOS DE RIO ATRAVÉS DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA: PARTE I

**Lays Ayara de Souza Soares**

<http://lattes.cnpq.br/3958897713611826>

Universidade Estadual do Piauí - UESPI

**Fernanda Benício Coelho de Araújo**

<http://lattes.cnpq.br/6302388784862807>

Universidade Federal do Piauí - UFPI

**Israel Lobato Rocha**

<http://lattes.cnpq.br/6518724518793037>

Instituto Federal do Piauí - IFPI

**Cleide Dias de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/4389925671391573>

Universidade Estadual do Piauí - UESPI

**Márcio Cleto Soares de Moura**

<http://lattes.cnpq.br/6836764301864738>

Universidade Federal do Piauí - UFPI

**Joselia Paes Ribeiro de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/0773778944252760>

Instituto Federal do Piauí - IFPI

**RESUMO** – Os cursos d’água têm sido alvo de várias intervenções ambientais que modificam suas características naturais. A mensuração da qualidade ambiental é amplamente realizada pelo emprego dos Protocolos de Avaliação rápida de Rios (PARs). Pelo presente estudo é realizada a avaliação dos impactos ambientais através de um protocolo de avaliação rápida no rio Corrente, localizado no município de Corrente, estado do Piauí, por se constituir na principal fonte utilizada

no abastecimento do município. Os capítulos são constituídos em parte I e parte II visando a complementação das informações. Esta primeira parte trata das informações relativas à fundamentação teórica úteis na apreciação da segunda parte. Os pontos avaliados do rio Corrente foram escolhidos com o propósito de avaliar o nível de impacto ambiental em cursos d’água inseridos na zona urbana e rural. Os resultados obtidos através da aplicação do protocolo de Avaliação Rápida revelaram que o rio Corrente passa por fortes impactos advindos das ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação da terra e esses impactos afetam diretamente a quantidade e a qualidade da água disponível nesse rio. O diagnóstico precoce impede a expansão desses impactos, pois ele permite detectar desde ambientes minimamente perturbados, até condições ambientais severamente afetadas. Diante dos resultados obtidos a partir da análise foi possível verificar a necessidade de adotar medidas que venham pelo menos minimizar os processos de degradação do rio Corrente, o que poderia ser feito por meio da regularização da ocupação da terra nas suas margens, com o apoio das autoridades competentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** meio ambiente, corrente, qualidade da água.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente degradação do meio ambiente, os conflitos relacionados às questões ambientais têm sido frequentes nos últimos anos (VIEIRA, 2016). A água é um recurso fundamental para a continuidade da vida na terra, mas devido as intervenções antrópicas constantes sua redução em quantidade e qualidade se torna um problema cada vez mais próximo (CASALI, 2008).

A relação homem e natureza vem acarretando um rápido esgotamento dos recursos hídricos (JÚNIOR, 2011), e as alterações resultantes dessa relação são considerados impactos ambientais, que além de alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente, ainda resultam em danos à saúde do homem (BRASIL, 2012).

A crescente urbanização fez com que os recursos hídricos se tornassem alvo de exploração e consequente degradação, pois muitas cidades foram formadas as margens dos rios eliminando todo o tipo de vegetação ciliar, poluindo as águas com esgotos que são lançados próximos ou até mesmo no interior do rio, com lixos, o uso por animais e uma diversidade de impactos.

O município de Corrente é dotado de belezas naturais, possui campos de pastagens e é banhado pelo rio Corrente, Paraim, Gurguéia e vários riachos (SANTOS 2012). A cidade de Corrente tem sido motivo de preocupação de vários setores da sociedade, pois ao longo dos anos os problemas ambientais do município têm se agravado de maneira acelerada, isto gera uma grande preocupação. Sabe-se que o homem é o principal causador desses efeitos degradantes.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. ÁGUA E QUALIDADE DA ÁGUA

Diante da seriedade dos resultados de impactos ambientais sobre o globo, no século XXI, os problemas ambientais têm sido postos com uma relevância equivalente às questões econômicas e sociais. As grandes intervenções humanas sobre o meio parecem, agora, alimentar dúvidas ante um futuro em que a escassez de recursos naturais é prevista (FELIPPE, 2009).

A água é um recurso natural fundamental e muito significativo, por ser um elemento essencial dos processos metabólicos dos organismos vivos, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (SANTIN; GOELLNER, 2013).

De acordo Pinto (2003), a água potável disponível vem se transformando em um elemento cada vez mais escasso, sendo um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pela população mundial. Nos últimos anos, diversos estudo tem sido executado com o objetivo de averiguar os problemas referentes a diminuição da qualidade e da quantidade da água (FRANCO; HERNANDEZ, 2009).

Devido ao processo de degradação ambiental consequente das ações antrópicas, a água disponível no planeta vem se esgotando de forma bastante acelerada, apesar da sua imprescindível importância (JÚNIOR, 2011).

A relação negativa existente entre o homem e o meio ambiente cria problemas ecológicos mundiais (OLIVEIRA; NUNES, 2015), que se multiplicam e se expandem num ritmo muito acelerado (SANTIN; GOELLNER, 2013).

Em vista dessa problemática, inúmeras legislações pautam a proteção e manutenção desses recursos hídricos, como o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) (BRASIL, 2012) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433) (BRASIL 2000; 2005).

## 2.2. FERRAMENTAS DE GESTÃO E QUALIDADE DA ÁGUA

Na atualidade, o gerenciamento e a conservação de recursos hídricos são as temáticas mais debatidas devido ao acelerado processo de degradação. A procura por este recurso aumenta à medida que a população mundial cresce. Para preservar este bem tão significativo, instrumentos como legislações e políticas públicas foram e vem sendo criadas, além de programas e projetos de incentivo e preservação de recursos hídricos (PRAVUSCHI, 2015).

### 2.2.1. O Código das Águas

No contexto nacional, o decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934 (Código das Águas) foi criado com a finalidade de estabelecer o regime jurídico das águas no Brasil, dispõe sobre sua classificação, sua utilização e sobre o aproveitamento do potencial hidráulico, fixando as respectivas limitações administrativas de interesse público (SANTIN; GOELLNER, 2013).

### 2.2.2. Constituição Federal de 1988

A Constituição Federal de 1988 determina que a água é um bem de domínio público pertencendo aos estados e à união. No caso das águas superficiais elas podem ser de domínio do estado ou da união quando forem rios de divisa ou que atravessam mais de um estado. No caso das águas subterrâneas elas pertencem exclusivamente aos estados (GIAMPÁ; GONÇALVES, 2005).

### 2.2.3. Política Nacional de Recursos Hídricos

Em 1997 foi promulgada a Lei Federal nº 9.433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, com os seguintes fundamentos e objetivos:

Dos fundamentos:

I - A água é um bem de domínio público;

II - A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplos das águas;

V - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997, Art. 1º).

Dos objetivos:

I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidades adequados aos respectivos usos;

II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;

IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

#### 2.2.4. Novo Código Florestal

As reservas legais e as áreas de preservação permanente assumem papel importantíssimo quanto a proteção ambiental (CARMO, 2014).

O Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal e dá outras providências.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

II - Área de Preservação Permanente –APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

III - Reserva legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção da fauna silvestre e da flora nativa;

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta lei:

I - As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- A. 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- B. 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- C. 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- D. 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- E. 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros (BRASIL, 2012).

### 2.3. BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia hidrográfica expressa um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes, numa perspectiva hidrológica (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

A complexidade das bacias hidrográficas resulta do substrato geológico, do tipo de solo, da forma e tamanho das bacias de drenagem e das condições climáticas locais (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005). As bacias hidrográficas foram determinadas como unidade de planejamento, pois além de caracterizar uma unidade física bem definida, também toda área de terra por menor que seja integra-se uma bacia (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005). Essa determinação favoreceu especialmente a proteção da água, já que sua demarcação está diretamente relacionada com a disposição dos recursos hídricos (PORTO; PORTO, 2008).

Seja qual for o ponto da superfície terrestre constitui uma bacia hidrográfica. A partir de um pequeno vale até a grande bacia amazônica existe uma discreta área de terreno que capta constantemente a água da chuva, perde água por evaporação, e produz o restante como deflúvio ou escoamento superficial (LIMA, 2008).

A bacia hidrográfica se constitui num significativo ecossistema e exerce papel importantíssimo no ciclo hidrológico (JÚNIOR, 2011) e o seu desempenho é relativo aos processos geomorfológicos de composição que resultaram, em: sua área, formas geométricas do relevo, diferentes declividades, densidades de drenagem, entre outros parâmetros, bem como aos processos hidrológicos tais como: precipitação local e regional, escoamento superficial da água das chuvas, infiltração, fluxo de base, deflúvio, vazão e, suas inter-relações com o meio (RODRIGUES *et al.*, 2013).

A qualidade e a quantidade das águas dos rios vêm sendo afetadas pela invasão desarmônica da bacia hidrográfica devido ao crescimento demográfico (SOUZA *et al.*, 2014).

A tomada do homem de maneira cada vez mais desequilibrada vem resultando em uma série de impactos nas bacias hidrográficas no planeta, através de atividades de desmatamentos, queimadas, práticas agrícolas perniciosas, ocupações urbanas generalizadas gerando a impermeabilização

dos solos, lançamentos de esgotos industriais e domésticos nos rios e lagos, erosão das margens e assoreamento dos cursos d'água, entre outras atividades (RODRIGUES *et al.*, 2009).

O manuseio apropriado de bacias hidrográficas em regiões ambientalmente frágeis é de suma relevância para a manutenção do escoamento subterrâneo da mesma, sendo este fundamental na perenização dos cursos d'água (SILVA, 2009).

### 2.3.1. Nascentes

A Resolução do CONAMA nº 303/2002 define nascente ou olho d'água como “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea” (BRASIL, 2002. Art 2º; II).

Nascentes, também conhecidas como minas d'água, fio d'água, olho d'água e fontes, são locais onde acontece o afloramento das águas subterrâneas e que dão início a formação de pequenos riachos, que por sua vez dão origem aos rios (PRAVUSCH, 2015).

Legalmente existe uma distinção de nascentes e olho d'água, conforme disposto no Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 artigo 3º assim definido Inciso XVII. Nascente é o afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água. Inciso XVIII. Olho d'água é afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente (BRASIL, 2012).

Calheiros (2009) afirma que a nascente sublime é aquela que oferece água de boa qualidade, farta e constante e ressalta ainda que além da quantidade de água estabelecida pela nascente, é esperado que possua uma boa distribuição no tempo, ou seja, a alteração da vazão situe-se dentro de um mínimo satisfatório ao longo do ano.

A quantidade e a qualidade de água das nascentes de uma bacia hidrográfica podem ser modificadas por vários motivos, motivos estes que respondem diretamente às ações antrópicas, principalmente nas áreas de recarga de nascentes, pois influenciam no armazenamento de água subterrânea (PINTO *et al.*, 2004).

Para melhor entendimento de onde origina-se as águas que constituem as nascentes torna-se indispensável o estudo do ciclo hidrológico. Para Calheiros (2009), dentro de uma bacia hidrográfica a água segue dois caminhos, uma parcela cai na terra na forma de chuva e é capturada pelas plantas, outra é evaporada e uma última porcentagem corre superficialmente, formando as enxurradas, a qual escoam rapidamente na bacia. A outra parcela de água proveniente da chuva também acaba infiltrando no solo, que será responsável por alimentar os aquíferos.

Essencialmente existe dois tipos de aquíferos: aquífero livre (lençol freático), onde o nível da água é inferior a pressão atmosférica, pois sua formação geológica é impermeável. E o aquífero confinado, que possui sua formação geológica permeável, fazendo com que a pressão no aquífero seja superior a pressão atmosférica (MIDIÕES; FERNANDES, 2008).

Para uma boa identificação e diagnóstico das nascentes deve-se classificá-las principalmente de acordo com o tipo de reservatório que lhes dão origem e conforme seu grau de conservação (PINTO *et al.*, 2004). Já para Neto (2010) além da origem e do grau de conservação deve-se classificá-las quanto a vazão, quanto a posição no terreno e a duração do fluxo.

## 2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS

Atualmente, segundo Sánchez (2013), o termo Avaliação de Impacto Ambiental tem múltiplos sentidos. Para o autor, é comum encontrar alguns conceitos distintos, como: (i) previsão sobre as consequências de uma determinada ação sobre a saúde e o bem-estar humanos; (ii) identificação das consequências futuras de planos ou programas de desenvolvimento socioeconômicos ou de políticas governamentais; (iii) estudo das alterações ambientais ocorridas em uma determinada região ou local, decorrente de atividade individual ou uma série de atividades passadas ou presentes; (iv) identificação e análise dos aspectos e impactos ambientais decorrentes de atividades de organização nos termos da norma ISSO 14.000; (v) análise dos impactos ambientais decorrentes do processo de produção, de utilização e do descarte de um determinado produto.

Nos dias atuais, a AIA apresenta-se como um instrumento de política ambiental praticada por diversos países, reconhecidos desde tratados internacionais como nas legislações internas, determinando sua dimensão e importância tanto para a preservação ambiental quanto para o desenvolvimento econômico das regiões (LIMA; GARCIA; FARIAS, 2017) e sua função primordial é o diagnóstico precoce, antecipatório e preventivo que visa solucionar o conflito entre a necessidade de apropriação e utilização dos recursos naturais e a conservação do padrão aceitável da qualidade ambiental, por meio do estabelecimento de procedimentos e atividades sequenciadas (MARINHO *et al.*, 2012).

O ponto de partida da AIA é a descrição da situação atual do ambiente, para se chegar a uma projeção da situação futura com e sem o projeto que se pretende implantar (SÁNCHEZ, 2013). A AIA insere na sua metodologia a precaução e a prevenção da degradação ambiental, sendo que, diagnosticado o risco, pondera-se sobre os meios de evitar o prejuízo (LIMA; GARCIA; FARIAS, 2017).

A degradação de um ecossistema constitui-se na modificação do seu equilíbrio natural ocasionado pela ação de fatores que atuam sobre os recursos naturais, estipulando processos como a erosão, diminuição da diversidade genética da flora e da fauna nativas, assim como a eutrofização, no caso de ecossistemas aquáticos (FERNANDES *et al.*, 2008).

Os impactos ambientais são consequência da poluição e deterioração ambiental, motivada em grandes parcelas pelas ações humanas sobre o ambiente, e se equivalem às modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas dos elementos naturais, acarretando ainda em danos à saúde do homem, à sociedade e aos recursos naturais renováveis. Por isso, não só o reconhecimento dos principais impactos ambientais é importante, mas, sobretudo, as medidas mitigadoras passíveis de serem aplicadas na área (ALVES; LIMA; FARIAS, 2012).

A vida da população é afetada por alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, pois surgem problemas, como: dificuldades na captação de água apropriada para o abastecimento, a problemática das enchentes e inundações, escassez de água e entre outros problemas (RODRIGUES *et al.*, 2009).

Procurando estabelecer as diretrizes sobre os impactos ambientais negativos, a Resolução nº 01 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 1986), o considera como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria e energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam:

- I – A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – As atividades sociais e econômicas;
- III – A biota;
- IV – As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – A qualidade dos recursos ambientais.

## 2.5. PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA

Nos dias atuais os cursos d'água têm sido alvo de várias intervenções ambientais que modificam suas características naturais (VARGAS; JÚNIOR, 2012), nesse contexto se inserem os Protocolos de Avaliação rápida de Rios (PARs), instrumentos utilizados na mensuração da qualidade ambiental e, que levam em consideração a análise integrada dos ecossistemas lóticos através de uma metodologia simples e de rápida aplicação (RODRIGUES; MALAFAIA; CASTRO, 2008).

Estes protocolos avaliam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos contribuindo com o manejo e a conservação, tendo como base parâmetros de fácil entendimento e de utilização simplificada. Essa avaliação consiste em uma inspeção visual do ambiente que substitui ou que agrega indicadores aos resultados das tradicionais análises físico-química e bacteriológicas de qualidade da água (CALLISTO *et al.*, 2002; VARGAS; JÚNIOR, 2012).

Os PAR constitui-se unicamente na observação do meio, e seus resultados dependem, acima de tudo, dos conhecimentos que o avaliador possui e da sua capacidade de percepção das alterações locais, ao contrário dos métodos de monitoramento de qualidade de água tradicionais, nos quais os valores dos parâmetros físico-químicos são obtidos através de aparelhos (RODRIGUES; CASTRO, 2008).

Segundo Rodrigues (2008), são necessárias alterações para que os protocolos possam ser aplicados em diferentes regiões, pois as características dos cursos d'água mudam em função de fatores como clima, relevo, geologia e vegetação. Realizadas as adaptações necessárias os protocolos são aplicáveis na avaliação de qualquer curso d'água.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, T. L. B.; LIMA, V. L. A. de.; FARIAS, A. A. de. Impactos Ambientais no Rio Paraíba na área do Município de Caraúbas-PB: região contemplada pela integração com a bacia hidrográfica do Rio São Francisco. **Caminhos da Geografia**: Revista on-line, Uberlândia, v. 13, n. 43, p.160-173, out. 2012.
- BRASIL. **LEI Nº 12.651 DE 25 DE MAIO DE 2012**. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em 28 nov. 2018.
- BRASIL. Resolução CONAMA n.º 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Revoga os artigos 26 e 34 da Resolução nº 20/86 (revogada pela Resolução nº 357/05). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, Seção 1, p. 70-71, 25 jan. 2001.
- BRASIL. **LEI N.º 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997 art. 1**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em 28 nov. 2018.
- BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, Seção 1, p. 58-63. 2005
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- CARMO, L. G. do. Área de Preservação Permanente no Entorno de Nascentes: Conflitos, Lacunas e alternativas da Legislação Ambiental Brasileira. **Bol. Goia. Geogr**, Goiânia, v. 34, n. 2, p.275-293, ago. 2014.
- CALLISTO, M. *et al.* Aplicação de um protocolo de Avaliação Rápida da diversidade de habitas em atividade de ensino e pesquisa. **Acta Limnológica Brasilienses**, Minas Gerais, v. 14, n. 1, p.91-98, abr. 2002.
- CALHEIROS, R. O. Cadernos de mata ciliar. Secretaria de Estado do meio Ambiente, Departamento de Proteção de Biodiversidade. Nº 1 (2009): São Paulo. Disponível em: [http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/2013/05/Cadernos-de-Mata-Ciliar-1\\_Preserva%C3%A7%C3%A3o-e-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-nascentes\\_2004.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/2013/05/Cadernos-de-Mata-Ciliar-1_Preserva%C3%A7%C3%A3o-e-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-nascentes_2004.pdf). Acesso em: 30 nov. 2018.
- CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertadas em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2008.
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.115-125, 2005.
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p.772-780, mar. 2009.

FERNANDES, R. T. *et al.* Degradação Ambiental e Condições Socioeconômicas do Município de Mearim- Maranhão. **Revista Eletrônica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p.307-327, jun. 2008.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação em Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais.** 2009. 277 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia e Análise Ambiental, Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALVES V.G., **Orientações para utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo, FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2005.

JÚNIOR, L. G. S. **Ação antrópica no entorno de nascentes e impactos sobre a saúde humana: o caso do município de Belo Jardim-PE, Brasil.** 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Humana e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão-PE, 2011.

LIMA, W. P. Ciclo hidrológico e balanço hídrico. **In: Manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba, Cap. 3, p. 32-49, 2008.

LIMA, M. I. L. S.; GARCIA, I. G.; FARIAS, L. C. Avaliação de Impacto Ambiental: Uma abordagem Argentino-Brasileira. **Revista Jurídica Direito e Paz**, São Paulo, v. 9, n. 36, p.42-61, abr. 2017.

MARINHO, M. M. O. *et al.* Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento de estímulo à produção limpa: Desafios e oportunidades no Estado da Bahia. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 6, n. 8, p.129-141, dez. 2012.

MIDIÕES, C.; FERNANDES, J. **Hidrogeologia – Água subterrânea: Conhecer para proteger e preservar.** Portugal: GrafiTime, 2008.

NETO, W. M. S. **Avaliação da distribuição espacial de zona de armazenamento de água em nascente perene de microbacia instável Barra de Guaratiba, RJ.** 2010. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2010.

OLIVEIRA, F. M.; NUNES, T. S. Aplicação de protocolo de avaliação rápida para caracterização de qualidade ambiental do manancial de captação (Rio Pequeno) do município de Linhares, ES. **Natureza On Line**, Espírito Santo, v. 13, n. 2, p.86-91, abr. 2015

PRAVUSCHI, P. R. **Legislação: Conservação e Preservação de Nascentes no Estado de São Paulo.** 2015. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Recuperação de áreas Degradadas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. **In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2002. P. 17-35.

PINTO, L. V. A. *et al.* Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão de Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Lavras, v. 65, n. 1, p.197-206, jun. 2004.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PINTO, L. V. A. **Caracterização Física do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes.** 2003. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

RODRIGUES, V. A. **et al.** Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras – SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 21, n. 01, p.25-37, fev. 2013.

RODRIGUES, A. S. L. **Adequação de um protocolo de Avaliação Rápida para o monitoramento e avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em campos rupestres.** 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Brasil, v. 13, n. 1, p.161-170, mar. 2008.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 583 p.

SILVA, L. A. **Regime de escoamento e recarga subterrânea de nascentes na região do Alto Rio Grande-MG.** 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de água e Solo, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 583 p.

SANTIN, J. R.; GOELLNER, E. A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso. **Sequência**, Florianópolis, v. 34, n. 67, p.199-221, dez. 2013.

SOUZA, J. R. *et al.* A importância da qualidade da água e seus múltiplos usos: caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica de Prodepa**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p.26-45, abr. 2014.

SANTOS, Raimundo Brito dos. **Integração dos alunos da Unidade Escolar Dr. Dionísio Rodrigues Nogueira, no processo de recuperação do rio Corrente, no Município de Corrente-PI.** 2012. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí, Corrente-PI, 2012.

VIEIRA, P. D. **Análise do estado de conservação de nascentes do ribeirão dores do turvo em Dores do Turvo-MG.** 2016. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, 2016.

VARGAS, J. R. A.; JÚNIOR, P. D. F. Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida na Caracterização da Qualidade Ambiental de Duas Microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Espírito Santo, v. 17, n. 1, p.161-168, mar. 2012.

## EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS ON RIVER SECTIONS THROUGH A QUICK ASSESSMENT PROTOCOL: PART

### I

**ABSTRACT** – Nowadays, water courses have been the target of several environmental interventions that modify their natural characteristics. The measurement of environmental quality is wi-

dely performed using the Rapid River Assessment Protocols (PARs). The present study evaluates the environmental impacts through a rapid assessment protocol on the Corrente River, located in the municipality of Corrente, state of Piauí, as it is the main source used to supply the municipality. The chapters are made up in part I and part II in order to complement the information. This first part deals with information on the theoretical basis useful in the assessment of the second part. The evaluated points of the Corrente River were chosen with the purpose of evaluating the level of environmental impact in watercourses inserted in the urban and rural areas. The results obtained through the application of the Rapid Assessment protocol revealed that the Corrente River goes through strong impacts arising from anthropic actions resulting from the use and occupation of the land and these impacts directly affect the quantity and quality of the water available in that river. Early diagnosis prevents the expansion of these impacts, as it allows detection from minimally disturbed environments, to severely affected environmental conditions. In view of the results obtained from the analysis, it was possible to verify the need to adopt measures that will at least minimize the degradation processes of the Corrente River, which could be done through the regularization of land occupation on its banks, with the support of competent authorities.

**KEYWORDS:** environment, current, water quality.

## CAPÍTULO 9

# AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM TRECHOS DE RIO ATRAVÉS DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA: PARTE II

**Lays Ayara de Souza Soares**

<http://lattes.cnpq.br/3958897713611826>

Universidade Estadual do Piauí - UESPI

**Fernanda Benício Coelho de Araújo**

<http://lattes.cnpq.br/6302388784862807>

Universidade Federal do Piauí - UFPI

**Israel Lobato Rocha**

<http://lattes.cnpq.br/6518724518793037>

Instituto Federal do Piauí - IFPI

**Cleide Dias de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/4389925671391573>

Universidade Estadual do Piauí - UESPI

**Márcio Cleto Soares de Moura**

<http://lattes.cnpq.br/6836764301864738>

Universidade Federal do Piauí - UFPI

**Joselia Paes Ribeiro de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/0773778944252760>

Instituto Federal do Piauí - IFPI

**RESUMO** – Os cursos d’água têm sido alvo de várias intervenções ambientais que modificam suas características naturais. A mensuração da qualidade ambiental é amplamente realizada pelo emprego dos Protocolos de Avaliação rápida de Rios (PARs). Pelo presente estudo é realizada a avaliação dos impactos ambientais através de um protocolo de avaliação rápida no rio Corrente, localizado no município de Corrente, estado do Piauí, por se constituir

na principal fonte utilizada no abastecimento do município. Os capítulos são constituídos em parte I e parte II visando a complementação das informações. Esta segunda parte trata das informações relativas aos materiais empregados, métodos, resultados e conclusões. O uso indiscriminado dos recursos naturais pelo homem causa uma crescente degradação ambiental. Os resultados obtidos através da aplicação do protocolo de Avaliação Rápida revelaram que o rio Corrente passa por fortes impactos advindos das ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação da terra e esses impactos afetam diretamente a quantidade e a qualidade da água disponível nesse rio. O diagnóstico precoce impede a expansão desses impactos, pois ele permite detectar desde ambientes minimamente perturbados, até condições ambientais severamente afetadas. Diante dos resultados obtidos a parti da análise foi possível verificar a necessidade de adotar medidas que venham pelo menos minimizar os processos de degradação do rio Corrente, o que poderia ser feito por meio da regularização da ocupação da terra nas suas margens, com o apoio das autoridades competentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** meio ambiente, corrente, qualidade da água

## 1. MATERIAIS E MÉTODOS

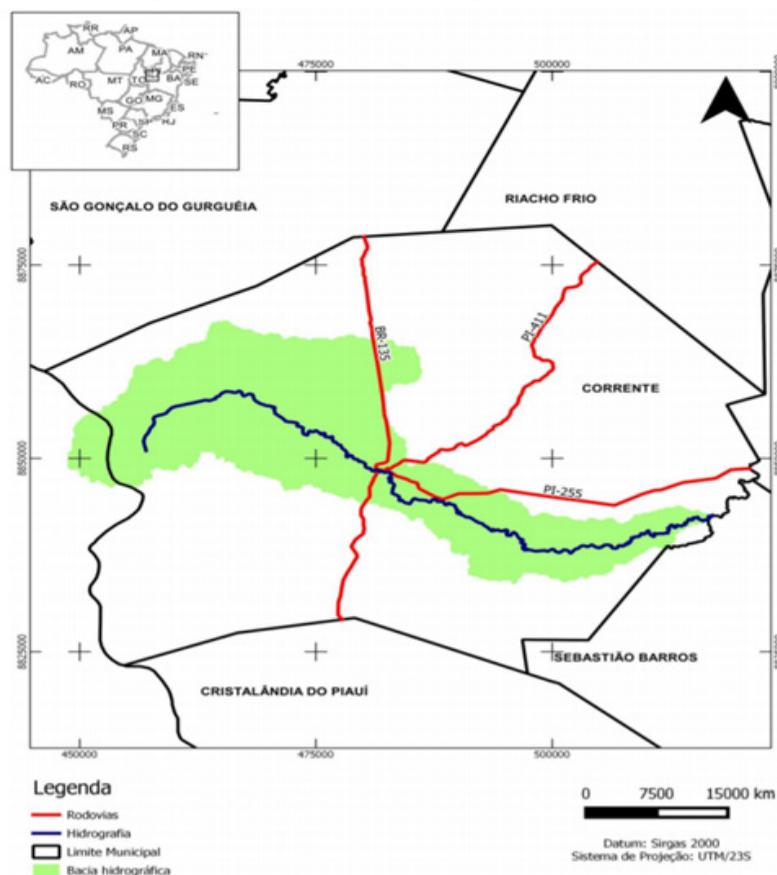
### 1.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Corrente (Figura 1) está localizado no extremo sul do Piauí, Nordeste do Brasil, na microrregião da Chapada das Mangabeiras, cerca de 890 km da capital Teresina (SANTOS, 2012).

O clima tropical subúmido quente, com duração do período seco de cinco meses e a precipitação pluviométrica anual é de 1.104,9 mm. As chuvas concentram-se entre os meses de novembro a março (ANDRADE JÚNIOR *et al.* 2004). A área urbana do município está situada geograficamente a 10°26' 36" Latitude Sul e 45°09' 44" Longitude Oeste (AGUIAR; GOMES, 2004).

O município de Corrente limita-se a Norte com os municípios de São Gonçalo do Gurguéia e Riacho Frio, a Sul com Cristalândia do Piauí e Sebastião Barros, a Leste com Parnaguá e Sebastião Barros e, a Oeste, com Barreiras do Piauí e o estado da Bahia (SANTOS, 2012). Sua população estimada, de acordo com o Censo Demográfico do IBGE de 2018, é de 26.575 habitantes, sendo a urbana 15.693 habitantes, correspondendo a 61,00 % da população total do município.

Figura 1 Área de estudo e hidrografia do município



Fonte: Nascimento, 2016

## 1.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 1.2.1. Definição dos trechos para aplicação do Protocolo de avaliação rápida

A definição dos trechos do rio Corrente teve suporte nas visitas de campo realizadas nos meses de outubro e novembro de 2018. Os critérios utilizados para a seleção dos trechos do rio analisado foram baseados nas condições ambientais, níveis de intervenção antrópica e a facilidade de acesso aos locais (Tabela 1).

**Tabela 1** – Trechos selecionados para a avaliação

TRECHO	PONTO DE REFERÊNCIA
Trecho 1	Parte rural da cidade, localidade extrema, aproximadamente 200m de distância do ponto de banho.
Trecho 2	A jusante do trecho 1, distante aproximadamente 800m (ponte do Itagi).
Trecho 3	Parte urbana, entre a ponte que dá acesso ao bairro vermelhão, até o final da rua Barão do Paraim.
Trecho 4	A montante do trecho 3, tendo como ponto de referência a estação de tratamento de água do município.

Os pontos avaliados do rio Corrente foram escolhidos com o propósito de avaliar o nível de impacto ambiental em cursos d'água inseridos na zona urbana e rural, portanto os trechos de aplicação do protocolo foram distribuídos da seguinte maneira:

**Figura 2** – Trecho 1 mostrando a parte rural da cidade, localizado na localidade extrema



Fonte: Google Earth.

**Figura 3** – Trecho 2 mostrando a área à jusante do trecho 1, distante aproximadamente 800 m (ponte do Itagi)



Fonte: Google Earth

**Figura 4** – Trecho 3 mostrando a parte urbana, o trecho foi selecionado entre a ponte que dá acesso ao vermeilhão (ponte que liga a rua Ana Francisca a rua Beira Rio) até o final da rua Barão do Paraim



Fonte: Google Earth

**Figura 5** – Trecho 4 mostrando a área a montante do trecho 3, tendo como ponto de referência a estação de tratamento de água do município.



Fonte: Google Earth

### 1.2.2. Definição e aplicação do Protocolo a ser aplicado

Considerando os objetivos do presente estudo, as características que puderam ser observadas dos pontos nas visitas e com base na pesquisa bibliográfica realizada, optaram-se em utilizar o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) adaptado de Lobo; Voos; Júnior, (2011), que tem como base o protocolo utilizado por Callisto et al., (2002).

O Protocolo utilizado na presente pesquisa é composto por 12 parâmetros, que buscam gerar uma caracterização física do curso d'água em avaliação (Quadro 1).

Para cada parâmetro a ser avaliado têm-se critérios para definição da pontuação. A pontuação é definida por cada avaliador com base nestes critérios (Tabela 2).

**Quadro 1** – Parâmetros de caracterização física do copo hídrico

**PONTUAÇÃO**

Parâmetros	4 pontos	2 pontos	1 ponto	
<b>Tipo de ocupação nas margens do curso d'água (principal ocupação)</b>	Vegetação natural	Campo de pastagem, agricultura e reflorestamento.	Residencial, comercial e industrial.	
<b>Impactos antrópicos na margem</b>	Ausente	Moderado	Acentuado (fábricas, canalização, esgoto, lixo)	
<b>Impactos antrópicos no leito</b>	Ausente (livre de qualquer material em suspensão/ lixo)	Moderado	Acentuado	
<b>Odor da água e/ ou do sedimento</b>	Ausente	Moderado	Acentuado (ovo podre, óleo)	
<b>Oleosidade da água e/ou do sedimento</b>	Ausente	Moderada	Acentuada	
<b>Presença de plantas aquáticas</b>	Parcial	Total	Ausente	
<b>Tipo de fundo</b>	Pedras/ cascalho/ areia	Lama/ areia	Cimento/ canalizado	
<b>Diversidade de habitats</b>	Mais de 50% com habitats diversificados (pedaços de troncos submersos, cascalho, remansos, folhiço ou outros habitats estáveis)	30 a 50% de habitats diversificados	10 a 30% de habitats diversificados	Menos de 10% de habitats diversificados

<b>Deposição de lama</b>	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama	Entre 50 e 70% do fundo coberto de lama	Mais de 75% do fundo coberto de lama
<b>Alterações no canal do rio</b>	Canalização (retificação) ou drenagem ausente ou mínima	Alguma canalização presente, normalmente próximo a construção de pontes	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado	Margens modificadas acima de 80% do rio modificado
<b>Presença de mata ciliar</b>	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, arbusto ou macrófitas. Mínimas evidências de florestamento	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa, de florestamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; de florestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada	Menos de 50% da mata ciliar nativa; de florestamento muito acentuado
<b>Estabilidade das margens</b>	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente, pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes	Instável; muitas áreas com erosão; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem. Canalização

Adaptado de LOBO; VOOS; JÚNIOR, (2011)

**Tabela 2** – Pontuação em função do nível de perturbação

<b>Pontuação</b>	<b>Nível de perturbação</b>
<b>0 – 22</b>	Impactado
<b>23 – 32</b>	Alterado
<b>&gt;32</b>	Natural

Adaptado de LOBO; VOOS; JÚNIOR, (2011)

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1. ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados é realizada pela definição de pontuação para cada parâmetro. Em seguida, efetua-se o somatório da pontuação para cada local em avaliação, chegando-se na definição do nível de perturbação do curso d'água do rio.

Conforme a tabela 1, pontuações superiores a 32 pontos indica que o curso d'água possui características físicas de um ambiente natural. Pontuações entre 23 e 32 pontos pressupõe que o curso d'água encontra-se alterado. Pontuações variando 0 e 22 pontos significa que o curso d'água encontra-se impactado.

### 2.2. AVALIAÇÃO DOS TRECHOS DE RIOS LOCALIZADOS NA ZONA RURAL

O trecho 1 apresentou uma boa condição ambiental, mesmo que mínimas, sendo tomado, neste estudo, como trecho “referência”, pelo fato de não ser observado perturbações e interferências de atividades humanas, mantendo suas condições naturais preservadas, a qual deveriam ser observadas nos outros trechos avaliados. Conseqüentemente, umas das características que contribuíram para a manutenção e conservação da qualidade desse trecho foi a integridade da vegetação ripária, fazendo com que ele recebesse a pontuação de 43 pontos (gráfico 1), classificando-o como natural (Figura 6).

Nesse local os únicos parâmetros que não receberam a pontuação máxima (4 pontos) foram presença de plantas aquáticas e o parâmetro diversidade de habitats. Em relação ao parâmetro presença de plantas aquáticas não foi observada nenhuma espécie, isso indica que a qualidade da água é relativamente boa, pressupõe que seus usos não estão tão comprometidos devido ao excesso de nutrientes.

De acordo Callisto *et al* (2002), o parâmetro diversidade de habitats avalia a quantidade e a variedade de estruturas naturais no rio, como por ex., algas, folhas, troncos e galhos de árvores submersos, cascalho e rochas disponíveis e como também as comunidades aquáticas ali presentes, no caso de insetos aquáticos, crustáceos, peixes e anfíbios, todos esses fatores contribuem para que os organismos que vivem ali procurem alimentos, evitem predadores e desovem. Portanto, o único requisito dos que compõe o parâmetro diversidade de habitats encontrado no trecho em estudo, foram as rochas.

Conforme Firmino; Malafaia e Rodrigues (2011) existem consequência para este processo, como por exemplo, a diminuição da biodiversidade, porque as espécies que ali habitam não terão todas as condições para alimentação e reprodução.

Figura 6 – imagem do trecho 1



A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) no trecho 2 resultou no valor final de 30 pontos (Gráfico 1), classificando-o em alterado. Entre os parâmetros que o classificaram em um ambiente alterado, somente os valores que apresentam os parâmetros 4, 5, 7 e 9 foram identificados fora do ponto crítico. Estes parâmetros estão relacionados a odor da água e/ou do sedimento, tipo de fundo e deposição de lama.

Os parâmetros 1, 2, 3, 6, 8 e 11 receberam as menores pontuações. Analisando esses parâmetros é possível constatar que a degradação ao longo dessa região está visualmente relacionada com o uso e a ocupação da área. Esse resultado observado pode ser devido ao local ser próximo a residências, áreas de pastagem e estradas, apresentando assim uma moderada quantidade de lixo, ausência de plantas aquáticas, margens desmatadas e além de uma bomba de sucção (Figura 7).

A ocupação humana desordenada é uma das ações que mais alteram os cursos d'água. Segundo Carvalho, Bentos e Pereira (2014) os impactos ambientais aumentam simultaneamente na proporção que se consolida as alterações decorrentes da ocupação humana, acima de tudo em relação ao uso e ocupação do solo e da falta de planejamento em áreas de preservação, que levam à uma modificação do espaço.

Figura 7 – trecho 2



### 2.3. AVALIAÇÃO DOS TRECHOS DE RIOS LOCALIZADOS NA ZONA URBANA

O rio Corrente é um curso d'água perene e sua profundidade varia muito pouco durante sua extensão.

Durante a avaliação do trecho 3 foi possível observamos a redução da qualidade ambiental devido a sua localização. Segundo Callisto *et al* (2002); Rodrigues; Malafaia; Castro (2008); Vargas; Júnior (2012) é comum que a qualidade ambiental diminua ao longo dos trechos avaliados, principalmente se estes estiverem inseridos em áreas urbanas no decorrer do seu percurso.

Ao ser feita a somatória dos pontos, o trecho 3 recebeu 19 pontos (Gráfico 1), sendo assim considerado um ambiente impactado. Nenhum dos parâmetros avaliados recebeu a nota máxima. Esse resultado já era esperado pois o trecho se encontra em uma área inteiramente urbanizada com forte intervenção humana sobre seu leito e suas margens. Impactos como lançamento de esgoto doméstico, lixo domiciliar, áreas utilizadas para a agricultura, desmatamento da vegetação ripária colaboram significativamente para que a qualidade ambiental nessa área seja reduzida (Figuras 8, 9 e 10).

As perturbações antrópicas no entorno de cursos d'água, como observado nesse trecho, é um evento que ocorre em diversas regiões do país, sendo relatados em estudos como os de Firmino; Malafaia e Rodrigues (2011); Guimarães; Rodrigues e Malafaia (2012) e França; Rodrigues e Malafaia (2008).

O tipo de ocupação das margens e os impactos antrópicos nas margens e no leito foram os principais aspectos negativos observados em todo o trecho 3. Segundo Rodrigues e Castro (2008), quando ocorre essa ocupação nas margens dos rios a condição é considerada péssima, pois o curso d'água perde suas características naturais.

A retirada da vegetação das margens contribui para o aumento e aceleração dos processos erosivos. Vogel; Zawadzki e Metri (2009) ressaltam ainda que as áreas de matas ciliares exercem grande influência sobre a qualidade dos corpos d'água e sobre a comunidade biológica nela existente.

**Figura 8** – Imagem dos trechos (A) trecho 1; (B) trecho 2



**Figura 9** – Imagem do trecho 3



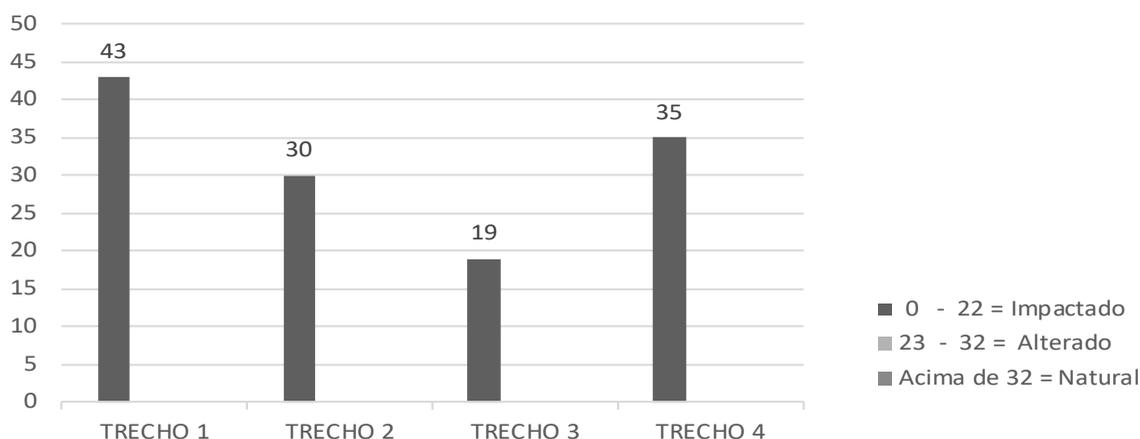
A avaliação no trecho 4 apontou que os parâmetros que apresentaram as piores condições ambientais foram o 2, 6 e 7, ou seja, impactos antrópicos nas margens, presenças de plantas aquáticas e tipos de fundo contribuíram para a classificação do trecho como natural com uma pontuação de 35 pontos (Figura 12), quando comparado a situação referência e ao fato de estar localizado na área urbana.

Um dos principais impactos antrópicos encontrados nos pontos avaliados no rio Corrente através de um protocolo de avaliação rápida foi o desmatamento das matas ciliares no entorno do rio. Diversos autores afirmam que a vegetação ciliar forma uma barreira chamada “zona de tampão” que realiza a remoção de nutrientes, sedimentos e poluentes provenientes do escoamento superficial de maneira que, antes de atingirem os ecossistemas aquáticos, são retidos ou sua quantidade inicial é diminuída (Vogel; Zawadzki e Metri, 2009).

Figura 10 – Imagem do trecho 4



Figura 11 – Pontuação dos trechos após a aplicação do Protocolo



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso indiscriminado dos recursos naturais pelo homem causa uma crescente degradação ambiental. Os resultados obtidos através da aplicação do protocolo de Avaliação Rápida revelaram que o rio Corrente passa por fortes impactos advindos das ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação da terra e esses impactos afetam diretamente a quantidade e a qualidade da água disponível nesse rio.

O diagnóstico precoce impede a expansão desses impactos pois ele permite detectar desde ambientes minimamente perturbados, até condições ambientais severamente afetadas. Diante dos resultados obtidos a parti da análise foi possível verificar a necessidade de adotar medidas que venham pelo menos minimizar os processos de degradação do rio Corrente, o que poderia ser feito por meio da regularização da ocupação da terra nas suas margens, com o apoio das autoridades competentes.

### REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C. **Diagnóstico do município de Corrente**. Fortaleza, CPRM, 2004.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. et al. **Atlas climatológico do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004.
- CALLISTO, M. *et al.* Aplicação de um protocolo de Avaliação Rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa. **Acta Limnológica Brasilienses**, Minas Gerais, v. 14, n. 1, p.91-98, abr. 2002.
- CARVALHO, E. M.; BENTOS, A. B.; PEREIRA, N. S. Avaliação Rápida da diversidade de Habitats em ambientes lóticos. **Interbio**, Mato Grosso do Sul, v. 8, n. 1, p.01-11, jul. 2014.
- FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico de integridade ambiental de trechos de rios localizados no Município de Ipameri, sudeste do estado de Goiás, através de um Protocolo de Avaliação Rápida. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, Ipameri, v. 15, n. 2, p.1-12, out. 2011.
- MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Uma reflexão sobre o ensino de ciências no nível fundamental da educação. **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 2, p. 1-9, 2008.
- RODRIGUES, A. S. L. **Adequação de um protocolo de Avaliação Rápida para o monitoramento e avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em campos rupestres**. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Brasil, v. 13, n. 1, p.161-170, mar. 2008.
- RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. T. A. Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro preto-MG através de um Protocolo de Avaliação Rápida. **Revista de Estudos Ambientais**, Minas Gerais, v. 10, n. 1, p.74-83, jun. 2008.

SANTOS, Raimundo Brito dos. Integração dos alunos da Unidade Escolar Dr. Dionisio Rodrigues Nogueira, no processo de recuperação do rio Corrente, no Município de Corrente-PI. 2012. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí, Corrente-PI, 2012.

VARGAS, J. R. A.; JÚNIOR, P. D. F. Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida na Caracterização da Qualidade Ambiental de Duas Microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Espírito Santo, v. 17, n. 1, p.161-168, mar. 2012.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas ripárias: Importância e principais ameaças. *Revista Saúde e Biologia*, v. 4, n. 1, p.24-30, jul. 2009

## EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS ON RIVER SECTIONS THROUGH A QUICK ASSESSMENT PROTOCOL: PART II

**ABSTRACT** – Nowadays, water courses have been the target of several environmental interventions that modify their natural characteristics. The measurement of environmental quality is widely performed using the Rapid River Assessment Protocols (PARs). The present study evaluates the environmental impacts through a rapid assessment protocol on the Corrente River, located in the municipality of Corrente, state of Piauí, as it is the main source used to supply the municipality. The chapters are made up in part I and part II in order to complement the information. This second part deals with information related to the materials used, methods, results and conclusions. The indiscriminate use of natural resources by man causes increasing environmental degradation. The results obtained through the application of the Rapid Assessment protocol revealed that the Corrente River goes through strong impacts arising from anthropic actions resulting from the use and occupation of the land and these impacts directly affect the quantity and quality of the water available in that river. Early diagnosis prevents the expansion of these impacts, as it allows detection from minimally disturbed environments to severely affected environmental conditions. In view of the results obtained from the analysis, it was possible to verify the need to adopt measures that will at least minimize the degradation processes of the Corrente River, which could be done through the regularization of land occupation on its banks, with the support of competent authorities.

**KEYWORDS:** environment, current, water quality.





# CAPÍTULO 10

## CARACTERIZAÇÃO E SORÇÃO DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DO RIO CORRENTE DOS MATÕES, PIAUÍ

**Fernanda Benício Coelho de Araújo**

<http://lattes.cnpq.br/6302388784862807>

Universidade Federal do Piauí – UFPI

**Marcio Cleto Soares de Moura**

<http://lattes.cnpq.br/6836764301864738>

Universidade Federal do Piauí – UFPI

**Gláucia Viana dos Santos**

<http://lattes.cnpq.br/4018304671183268>

Universidade Federal do Piauí – UFPI

**RESUMO** – Este trabalho teve como propósito avaliar as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos nas épocas seca e chuvosa e os parâmetros de adsorção de fósforo do rio Corrente dos Matões na região hidrográfica do Parnaíba/PI. A amostragem dos sedimentos foi realizada em nove pontos da microbacia, nos meses de setembro de 2013 (período seco) e fevereiro de 2014 (período chuvoso), compreendendo nascentes, segmentos intermediários e foz. Nos sedimentos foi realizada a granulometria e medidas as concentrações das frações de fósforo (fósforo total, fósforo inorgânico total, fósforo orgânico total) e nitrogênio total, além da determinação dos parâmetros de adsorção de fósforo. O período de amostragem (período seco) e a baixa capacidade de diluição do rio e algumas atividades antrópicas (fontes de poluição difusas) contribuíram para o aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio total em sedimentos

do rio. Além disso, os parâmetros de adsorção de fósforo, através das isotermas de Langmuir e Freundlich, apresentaram o comportamento da adsorção de fósforo que foram maiores na região intermediária do rio, podendo estar associada às características dos sedimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorção, isoterma de Langmuir, fosfato.

### 1. INTRODUÇÃO

O sedimento pode ser considerado como o resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um sistema aquático. Nele, ocorrem processos biológicos, físicos e químicos, que influenciam no metabolismo de todo o sistema. Além disso, é importante na avaliação da intensidade e das formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos. Na maioria dos ecossistemas aquáticos, o sedimento é o compartimento que apresenta a maior concentração de nutrientes (ESTEVES, 2011).

O enriquecimento de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo em sedimentos, está diretamente ligado à biomassa vegetal e animal, assim como aportes antrópicos. Em termos de poluição

nos ecossistemas aquáticos, a adição de matéria inorgânica como, por exemplo,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , altera a qualidade dos recursos hídricos. Em ambientes rurais, em média, de 10 a 25% desses nutrientes são levados para as águas pelo uso excessivo de fertilizantes nitratos, amônio, e fósforo como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ , os quais contribuem para a eutrofização (HOUSE et al., 2001).

O uso agrícola dos solos, em microbacias hidrográficas, altera a quantidade e as características dos sedimentos carregados em suspensão pelo escoamento superficial, onde são modificados pela ação antrópica. Uma vez atingindo um ambiente aquático, os sedimentos podem atuar tanto como dreno quanto como fonte de P para a água, diminuindo ou potencializando os processos de eutrofização (KOSKI-VÄHÄLÄ e HARTIKAINEN, 2001).

Nesse sentido, a disponibilidade de P nos sedimentos é controlada também pelos processos físico-químicos de adsorção e dessorção, já que a avaliação apenas dos teores de fósforo na água não é suficiente para caracterizar um ambiente eutrófico de um rio. Precisa-se, assim, considerar também a capacidade de adsorção e dessorção do P em sedimentos. Portanto, o sedimento constitui um compartimento de suma importância na avaliação da intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos, pois realizam constantes trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água (PELLEGRINI et al., 2008).

Desta forma, o fracionamento químico do fósforo em sedimentos fornece importantes informações sobre o comportamento geoquímico e a disponibilidade biológica deste nutriente. Portanto, é importante a determinação da relação entre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado, para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (SANTOS et al., 2010).

Neste contexto, o foco na matriz sedimentar de sistemas aquáticos, em especial do rio Corrente dos Matões, possibilita avaliar a qualidade dos ecossistemas, pois constitui um compartimento capaz de estocar nutrientes e matéria orgânica que pode representar potenciais contaminantes químicos, disponibilizando-os através de processos biogeoquímicos para a biota e/ou para a coluna d'água. Além disso, oferecem dados pretéritos sobre os processos de deposição e sobre a geologia da bacia resultando em um parâmetro abiótico excelente para o diagnóstico ambiental (PAULA FILHO, 2012).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos nas épocas seca e chuvosa e obter os parâmetros de adsorção de fósforo do rio Corrente dos Matões.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

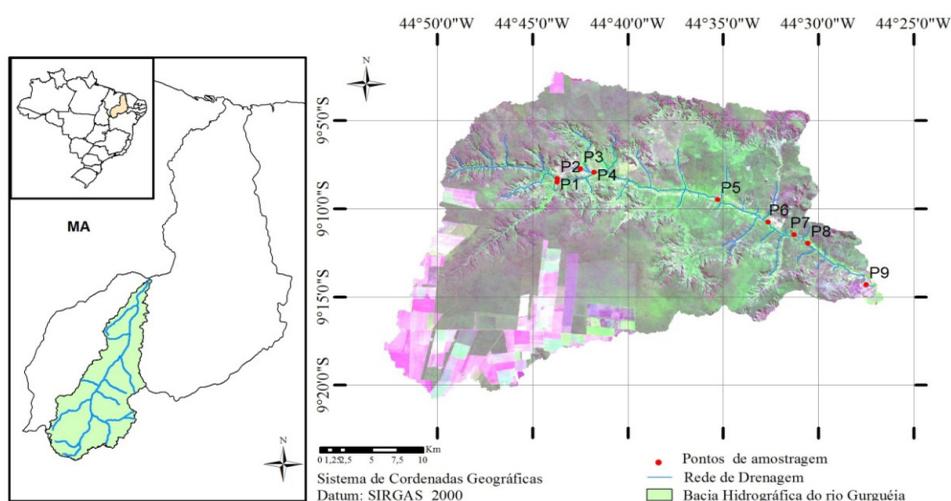
### 2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no rio Corrente dos Matões, principal afluente do rio Gurguéia, localizado na bacia do alto Parnaíba, sudoeste do Piauí, município de Bom Jesus (Figura 1). Sua área de drenagem apresenta 700 km<sup>2</sup> e aproximadamente 50 km de extensão, abrangendo

as chapadas do Quilombo e do Pirajá. Na bacia, os solos predominantes são os Latossolos Amarelos e Neossolos Flúvicos (EMBRAPA, 2006).

A vegetação da região é formada principalmente por plantas herbáceas, arbustos e matas de cocais, característica peculiar a uma área de transição cerrado - caatinga. Em toda sua extensão há presença de vegetação ciliar ainda conservada, formada principalmente pelos buritizais, originando áreas alagadas (brejos), que podem contribuir para a ciclagem de nutrientes, geração de matéria orgânica dissolvida e particulada para o rio, que podem ser exportados para jusante ou ficarem retidos no sistema como resultado da atividade biológica local.

**Figura 1.** Região Hidrográfica do rio Parnaíba destacando a localização dos pontos de amostragem do rio Corrente dos Matões, sub-bacia do rio Gurgueia, no município de Bom Jesus, sudoeste do Piauí



Nos últimos anos, essa região considerada a última fronteira agrícola do país, em consequência, vem atraindo um grande número de produtores implantando monoculturas de soja, milho e arroz, e empregam equipamentos de alta tecnologia na preparação dos solos, onde utilizam grandes quantidades de calcário para correção da acidez e fertilizantes químicos, como por exemplo, os fosfatados, visando corrigir a baixa fertilidade natural dos solos da região.

As propriedades rurais predominantes na bacia são de pequeno a médio porte, destinadas à agricultura familiar, exceto próximo as nascentes, onde há algumas propriedades agrícolas de grande porte. Uma vez que as atividades agrícolas que se desenvolvem em seu entorno podem representar fontes de poluição difusas para o sistema aquático. Logo, suas águas são utilizadas para abastecimento pela população local bem como para dessedentação de animais (PAULA FILHO et al., 2012).

## 2.2. AMOSTRAGEM E ANÁLISES DOS SEDIMENTOS

A amostragem dos sedimentos foi realizada em oito pontos da microbacia, nos meses de setembro de 2013 (período seco) e em nove pontos no mês de fevereiro de 2014 (período chuvoso), compreendendo nascentes, segmentos intermediários e foz do rio.

Em campo, os sedimentos foram coletados com o uso de pás e sacos plásticos e em seguida conservados a baixa temperatura. Posteriormente foram processadas e analisadas no Laboratório de Química Geral e Analítica da Universidade Federal do Piauí, Campus Prof<sup>a</sup>. Cinobelina Elvas / Bom Jesus.

No laboratório, as amostras de sedimentos foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C por 48 horas. Após isso, as mesmas foram submetidas à desagregação, pulverização, homogeneização e quarteamento.

A granulometria dos sedimentos foi realizada por tamisação, utilizando um agitador de peneiras marca Bertel, com peneiras de malha: 2,00mm, 1,00mm, 0,50mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,063  $\mu\text{m}$  para classificação do diâmetro das partículas (Tabela 1). Posteriormente, a fração das amostras que passaram na peneira de malha de 0,063 mm, foi utilizada para as determinações químicas.

**Tabela 1.** Frações granulométricas dos sedimentos obtidos por tamisação

Fração	Grânulo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte e argila
Diâmetro	> 2 mm	1 < 2 mm	0,5 < 1mm	0,25 < 0,5mm	0,1 < 0,25 mm	0,063 $\mu\text{m}$ < 0,125	< 0,063 $\mu\text{m}$

As análises das frações de fósforo e nitrogênio em sedimentos superficiais foram realizadas nos dois períodos amostrados (seco e chuvoso), enquanto para a determinação dos parâmetros de adsorção de fósforo nos sedimentos ocorreu apenas nas amostras coletadas no período seco.

Para a determinação do fósforo total, pesou-se 0,5 g do sedimento (fração menor do que 63  $\mu\text{m}$ ) em cadinhos de porcelana. Em seguida, levou-se a mufla a 450°C, por 08 horas para a combustão da amostra. Na sequência as amostras foram transferidas para tubos falcon de 50 mL e adicionando-se solução ácida para digestão. Posteriormente, levou-se para a mesa agitadora durante 16 h. Após esse tempo, centrifugou-se, retirando-se uma alíquota de 10 mL. A determinação foi realizada pelo método do complexo antimônio-fosfato-molibdato, reduzido com ácido ascórbico e realizou a leitura no espectrofotômetro a 882 nm (MURPHY E RILEY, 1962). Já para a determinação de fósforo inorgânico total, usou-se o mesmo procedimento de fósforo total, porém sem a combustão em mufla do sedimento. Por fim, o fósforo orgânico total foi obtido a partir da diferença entre o conteúdo de fósforo total e o fósforo inorgânico total (BERNER e RAO, 1994).

Para a determinação de nitrogênio total, pesou-se 0,5 g das amostras com alto teor de matéria orgânica em tubo de digestão, adicionando-se  $H_2O_2$  30% e 2,0 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, deixando em contato durante 10 a 15 minutos. Acrescentou-se a mistura de digestão ( $Na_2SO_4 + CuSO_4$ ) e em seguida foram postos no bloco digestor elevando a uma temperatura de 250°C, mantendo entre 15 e 20 minutos, em continuidade elevou-se para 350°C e manteve por 2 horas. Logo depois, esperou-se esfriar sobre uma placa de amianto e adicionou-se 5 ml de água destilada agitando-se a solução manualmente.

Conectou-se, assim, o tubo de digestão ao destilador Kjeldahl, adicionando-se NaOH 10 mol.L<sup>-1</sup>, destilou-se em solução indicadora de ácido bórico e, logo após, coletou-se entre 35 e 40 ml do destilado, logo em seguida titulou-se com solução HCl 0,02 mol.L<sup>-1</sup>. Em seguida, fez-se a leitura no espectrofotômetro a 420 nm (BREMER e MULVANEY, 1982).

### 2.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ADSORÇÃO

Para avaliação da adsorção de fósforo em sedimentos, pesou-se aproximadamente, 1,0 g do sedimento em tubos falcon, adicionando-se 25 ml de solução de  $CaCl_2$  0,01 mol.L<sup>-1</sup> contendo nove diferentes concentrações iniciais de fósforo (0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 50,0 e 100,0 mg.L<sup>-1</sup> na forma de  $KH_2PO_4$ ). Em seguida, adicionou-se 2 gotas de clorofórmio como inibidor microbiano e foram agitadas em mesa agitadora a 110 rpm durante 24 h. Ao final do período de equilíbrio, as soluções foram centrifugadas a 3600 rpm durante 10 minutos e numa alíquota do sobrenadante foi analisada as concentrações de fosfato, utilizando o molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, o qual é reduzido pelo ácido ascórbico, numa reação catalisada pelo antimônio tartarato de potássio, formando um complexo de coloração azul que posteriormente foi lido no espectrofotômetro a 882 nm (MURPHY e RILLEY, 1962).

Os experimentos foram realizados em triplicata e a quantidade de fósforo adsorvido foi calculada pela diferença da concentração inicial de fósforo e a concentração de fósforo recuperada na solução, após 24 horas de equilíbrio.

Os dados da adsorção foram ajustados não linearmente para dois modelos de adsorção comumente utilizados, ou seja, os modelos de Langmuir e Freundlich, utilizando Microcal Origin 8.0. Os parâmetros da isoterma de Langmuir foram obtidos a partir dos ajustes dos dados de adsorção de Langmuir na forma linear da equação de Langmuir:

$$\frac{1}{q_t} = \left( \frac{1}{k_l q_{max} C_{eq}} \right) + \frac{1}{q_{max}} \quad (1)$$

Onde  $q_t$  é a quantidade total adsorvida de P (mg.L<sup>-1</sup>),  $q_{max}$  é a quantidade máxima adsorvida de P (mg.kg<sup>-1</sup>),  $k_l$  é a constante de energia de ligação (L.mg<sup>-1</sup>) e  $C_{eq}$  é a concentração de equilíbrio após 24 horas.

Os parâmetros de adsorção de Freundlich também foram calculados pelo ajuste dos dados de adsorção à forma linear da equação de Freundlich:

$$\log q_t = \log K + n \log C_{eq} \quad (2)$$

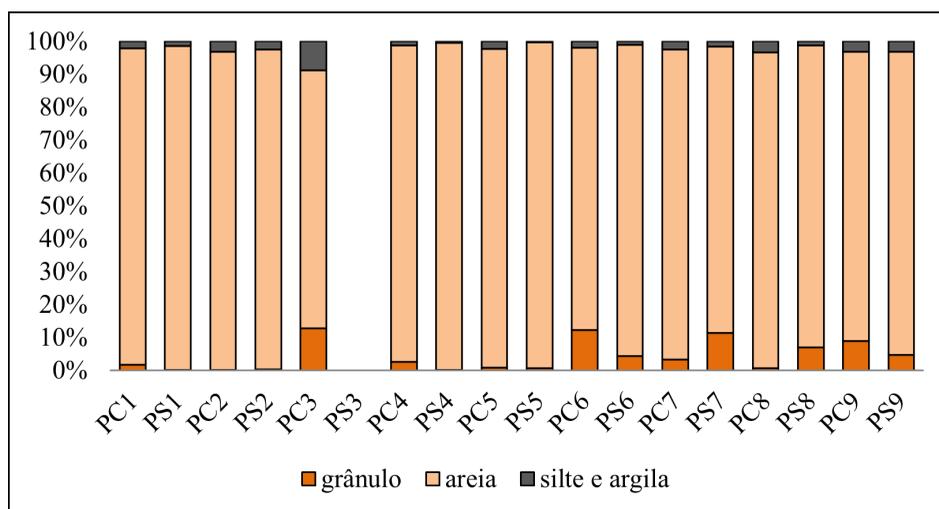
Onde  $K$  é a constante de adsorção de Freundlich ( $L \cdot kg^{-1}$ ) e  $n$  é uma constante empírica ( $n < 1$ ). Assim, os respectivos parâmetros de adsorção de Langmuir e de Freundlich foram calculados para os sedimentos do rio Corrente dos Matões.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. GRANULOMETRIA E MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS

Os resultados da variação sazonal da granulometria nos sedimentos do rio Corrente dos Matões são apresentados na Figura 2. Observa-se o predomínio de partículas grosseiras (areias) nos sedimentos em todos os pontos avaliados, o que demonstra uma baixa capacidade de adsorção de substâncias dissolvidas, muito embora os valores para as frações finas (silte e argila) e de grânulos foram significativas no ponto PC3, local este associado uma das nascentes do rio. Daí a acumulação de uma considerável parcela de partículas finas, sendo que na maioria dos pontos avaliados, encontram-se áreas de pastagens, com criação de gado, no entorno do rio.

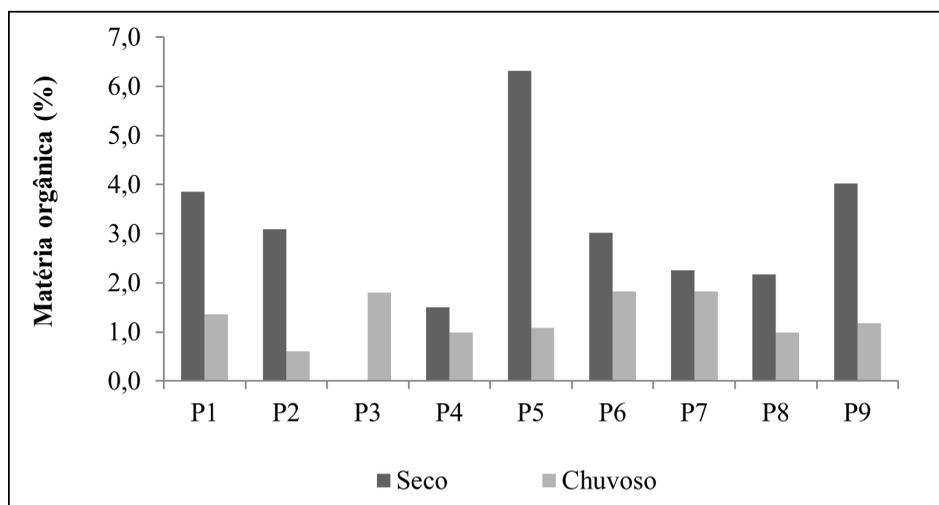
**Figura 2.** Fracionamento granulométrico nos sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso: S = seco e C = chuvoso



Além disso, no ponto PC3 ocorre a contribuição de sedimentos para os canais que ocorre pelo escoamento superficial, proporcionado pela estrada secundária localizada ao ponto de coleta. Visto que o domínio de partículas finas (silte e argila) está associado a uma maior área superficial do sedimento, permitindo um acúmulo de matéria orgânica, sendo que porcentagens mais altas de partículas finas no sedimento são comumente encontradas em sedimentos com altas concentrações de carbono orgânico e que pode estar associado ao acúmulo de detritos advindos de fontes antrópicas, porém não é o caso do rio Corrente dos Matões, pois, as concentrações de partículas finas não foram tão elevadas (PORTO FILHO, 1996).

A Figura 3 mostra os teores de matéria orgânica (%) nos sedimentos superficiais do rio, onde foram mais significativas nas amostras coletadas no período seco, corroborando com as concentrações das partículas finas (silte e argila), denotando uma forte associação entre as duas variáveis. Estes resultados evidenciam que principalmente os pontos P1, P5 e P9 são ambientes de acumulação, onde o maior aporte de matéria orgânica ficou concentrado na região intermediária do rio.

**Figura 3.** Variação sazonal da matéria orgânica nos sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem



Portanto, a morfologia destes locais, a menor turbulência por diminuição do fluxo de água e a cobertura vegetal ainda conservada, favoreceram o aporte de matéria orgânica. Paula Filho et al. (2012) em um estudo no referido rio atribuíram também os maiores teores de matéria orgânica associada a distribuição de partículas finas nos sedimentos, principalmente nos trechos próximos a nascente, evidenciando um ambiente de acumulação.

A granulometria, os teores de matéria orgânica e as concentrações de Fe, Al e Mn associadas principalmente aos óxidos, podem atuar diretamente nas taxas de sorção/dessorção de fósforo nos sedimentos e como consequência disso atuar também na disponibilidade de nutrientes na interface água/sedimento (FONSECA et al., 2011).

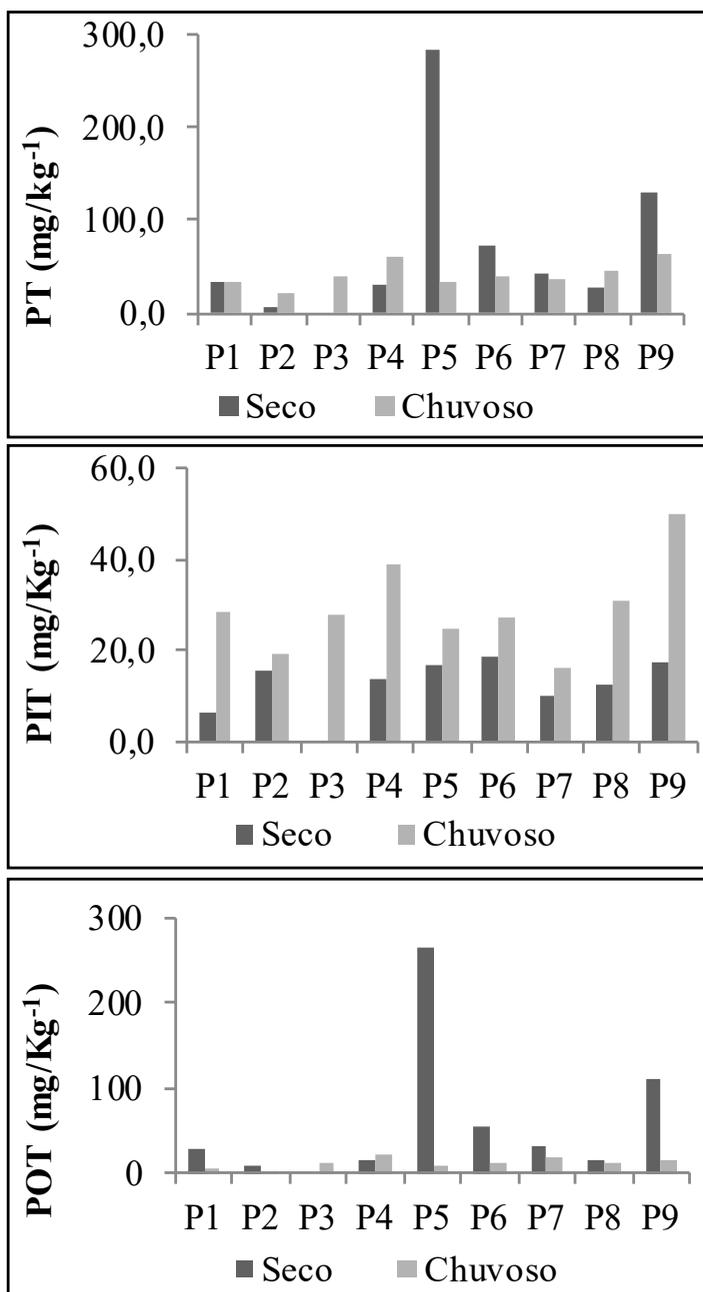
### 3.2. FRAÇÕES DE FÓSFORO NOS SEDIMENTOS

A variação nas concentrações de fósforo para as três diferentes frações nos sedimentos do rio Corrente dos Matões é apresentada por meio da Figura 4.

De maneira geral, as concentrações das formas de fósforo nos sedimentos tiveram uma tendência de crescimento, verificando-se que as maiores concentrações de fósforo total e orgânico ocorreram no período seco, especialmente no ponto P5, onde a concentração de PT foi

de 283 mg.Kg<sup>-1</sup>. Porém, não ultrapassou a concentração máxima prevista pela Resolução nº 344/ 2004 do CONAMA para sedimentos que é de 2.000 mg.Kg<sup>-1</sup>.

**Figura 4.** Variação sazonal das concentrações de P em sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem: fósforo total (PT), fósforo inorgânico total (PIT) e fósforo orgânico total (POT)



As concentrações médias para as formas de fósforo (PT, PIT e POT) foram 41,4±13,2 mg.kg<sup>-1</sup>, 29,1±10,2 mg.kg<sup>-1</sup> e 12,3±6,0 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso, enquanto que no período seco foram, 78,0±90,1 mg.kg<sup>-1</sup>, 13,9±4,1 mg.kg<sup>-1</sup> e 64,1±89,4 mg.kg<sup>-1</sup>. Paula Filho et al. (2012) em estudo realizados na mesma microbacia no ano de 2010 encontrou concentrações médias de

229,4 mg.kg<sup>-1</sup> para PT, 105,4 mg.kg<sup>-1</sup> para PIT e 124,0 mg.kg<sup>-1</sup> para POT, para o período chuvoso. Assim, estes valores foram superiores aos verificados nesse estudo.

Minella ET AL. (2007) ressaltam que a concentração de fósforo difere significativamente entre as fontes e está vinculada à característica da ocupação agrícola nas bacias hidrográficas. Em um estudo na bacia de Agudo/RS, constataram que as áreas de lavoura, onde é aplicada excessiva quantidade de adubos fosfatados, apresentaram concentrações máximas de fósforo nos sedimentos (783 mg L<sup>-1</sup>) Yanga et al. (2010) em um estudo no rio Maré, no Sul da Flórida (EUA), identificaram que a disponibilidade de fósforo total nos sedimentos é afetada por fontes difusas, como a agricultura.

As maiores concentrações de fósforo inorgânico total nos sedimentos ocorreram no período chuvoso para todos os pontos de amostragem. Visto que a transferência de fósforo para o ambiente hídrico advém principalmente em situações de eventos pluviométricos intensos (COSTA et al., 2010). Além disso, a origem e o aumento desta forma de fósforo na microbacia são devidos principalmente, a fonte natural e em menor contribuição ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos, por exemplo, os fosfatados, visando corrigir a baixa fertilidade natural dos solos na região.

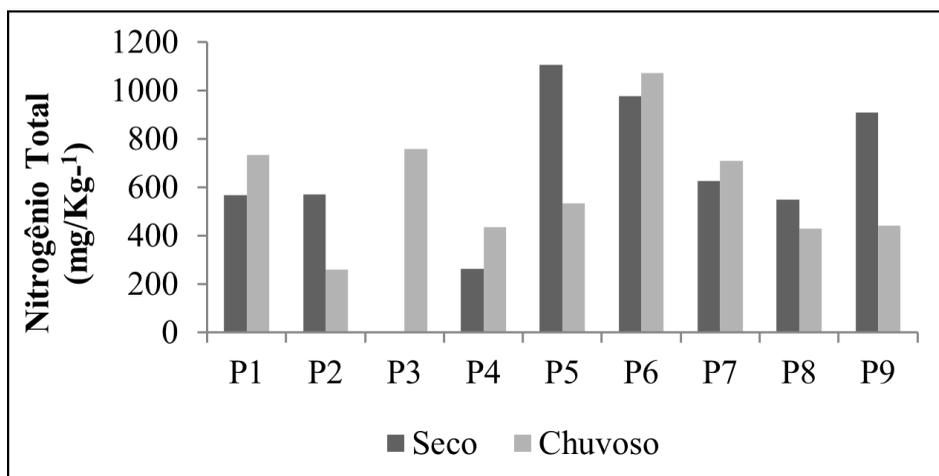
Uma vez que de acordo com Marins et al. (2007), o fósforo de origem antrópica encontra-se principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza. Contudo, no rio Corrente dos Matões não se observa tanta influência de efluentes urbanos, pois a microbacia é totalmente rural.

O fósforo orgânico total exibiu concentrações baixas nos períodos de avaliação. Contudo, os maiores valores ocorreram no período seco, especialmente nos pontos (P5 e P9), que pode estar associado ao conteúdo de matéria orgânica nestes locais (Figura 3), onde estes dois locais apresentaram os maiores teores de MO. Porém, esses resultados são inferiores a de uma bacia urbana do rio Barigui na região metropolitana de Curitiba, que verificaram altas concentrações de fósforo orgânico total nos sedimentos podendo ser atribuído à descarga de esgotos domésticos (FROEHNER e MARTINS, 2008).

### 3.3. NITROGÊNIO TOTAL NOS SEDIMENTOS

A Figura 5 exhibe as concentrações de nitrogênio total nos sedimentos do rio, as quais variaram entre 262,5 a 1105,2 mg.Kg<sup>-1</sup> para o período seco e 259,5 a 1073,8 mg.Kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Esses valores estão no padrão ambiental estabelecido pela Resolução nº 344/2004 do CONAMA para sedimentos que é de 4.800,00 mg.Kg<sup>-1</sup>.

**Figura 5.** Variação sazonal das concentrações de nitrogênio total em sedimentos do rio Corrente dos Matões em nove pontos de amostragem



Embora esses valores não sejam considerados como contaminantes, observa-se que nos pontos P5, P6 e P9 nos seguimentos intermediários e na foz do rio, teores mais elevados. As concentrações mais elevadas para esse nutriente podem estar associadas ao escoamento superficial da água da chuva, utilização de fertilizantes na agricultura, criação de animais (bovinos) em áreas de pastagens nestes locais do rio. Por outro lado, esses valores são menores que a média verificada para o nitrogênio total que variaram entre (350,00 a 2.100,00 mg/Kg) em sedimentos do trecho urbano do rio Itajaí-Açú, SC (SILVA et al., 2010).

### 3.4. PARÂMETROS DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO

Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros de adsorção de fósforo em sedimentos do rio Corrente dos Matões. Os dados ajustaram-se às isotermas de Langmuir e Freundlich com altos coeficientes de correlação ( $r^2 = 0,868$  a  $0,991$ ) e ( $0,877$  a  $0,975$ ), respectivamente. Porém, a amostra coletada no ponto P9 não se ajustou a isoterma de Langmuir e a amostra coletada no ponto P8 não se ajustou à isoterma de Freundlich.

**Tabela 2.** Parâmetros de adsorção de fósforo em sedimentos superficiais do rio Corrente dos Matões.

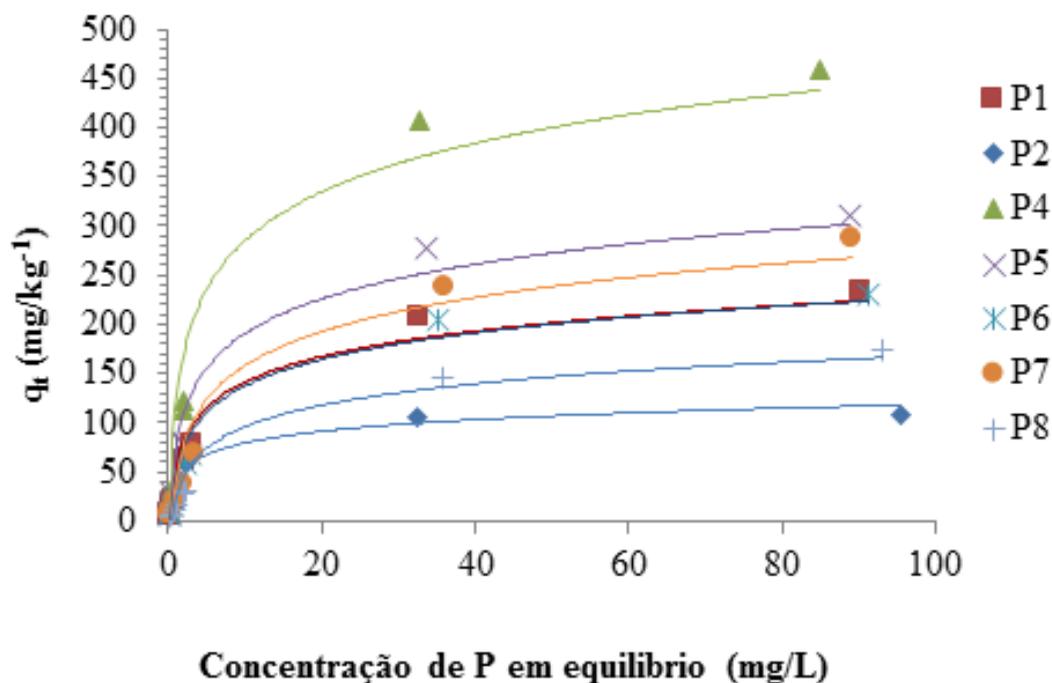
Locais	Isoterma de Langmuir $q_t = \frac{k_l C_{eq} q_{max}}{(1 + k_l C_{eq})}$			Isoterma de Freundlich $q_t = KC_{eq}^n$		
	$q_{max}$ (mg kg <sup>-1</sup> )	$k_l$ (L.mg <sup>-1</sup> )	$r^2$	$K$ (L.kg <sup>-1</sup> )	n	$r^2$
P1	250,0	0,143	0,979	25,06	0,529	0,969
P2	111,1	0,500	0,994	28,97	0,338	0,900
P4	500,0	0,133	0,979	39,81	0,539	0,975

P5	333,3	0,150	0,991	30,48	0,553	0,934
P6	250,0	0,129	0,986	20,99	0,576	0,925
P7	333,3	0,070	0,943	18,20	0,662	0,886
P8	200,0	0,075	0,868	13,21	0,544	0,570
P9	0	0	0,053	2,77	1,063	0,877

$q_{\max}$ : quantidade máxima adsorvida de P;  $K_1$ : constante de energia de ligação;  $r^2$ : coeficiente; K: constante de adsorção de Freundlich; n: constante empírica relacionada a intensidade da ligação

Os modelos utilizados para descrever a quimissorção de oxianions como o fosfato, em solos ou sedimentos aquáticos naturais, normalmente são do tipo L (Figura 6), onde há alta afinidade do sorvente pelo sortivo em baixas concentrações, diminuindo à medida que os sítios de reação se tornam ocupados. Esse modelo admite apenas uma camada e, depois de saturada, o excesso permanece na solução sobrenadante. Exemplos desse tipo de isoterma têm Langmuir e Freundlich (LAI e LAM, 2009).

**Figura 6.** Isotermas de adsorção de Langmuir para fósforo em sedimentos do rio Corrente dos Matões.



A isoterma de adsorção de Langmuir prevê uma boa estimativa da adsorção máxima teórica e a capacidade do sistema sedimento/água remover fósforo. A quantidade máxima

absorvida de fósforo ( $q_{max}$ ) para os sedimento ajustados a isotema Langmuir variou entre 111,1 e 500,0 mg.kg<sup>-1</sup>, (Tabela 2) os quais foram maiores do que os relatados para sedimentos na Flórida que apresentaram adsorção máxima de 150 a 260 mg.kg<sup>-1</sup> (GALE et al., 1994) e na Coréia que apresentaram capacidade de adsorção máxima entre 196 a 281 mg.kg<sup>-1</sup> (YOO et al., 2006). Por outro lado, esses resultados são inferiores aos encontrados por Lai e Lam (2009) que verificaram  $q_{max}$  variando entre 478 e 858 mg.kg<sup>-1</sup>, para sedimentos de parque aquático em Hong Kong.

Desta forma, a isoterma da adsorção de Langmuir forneceu uma boa estimativa da adsorção máxima teórica e, portanto, representa a capacidade máxima dos sedimentos na adsorção de fósforo. O coeficiente de energia de ligação ( $K_1$ ) que está relacionado com a afinidade do adsorvente pelo adsorvato, no geral, apresentaram valores baixos, compreendidos entre (0,070-0,500 L.mg<sup>-1</sup>). Esses resultados são inferiores aos reportados por Lin et al. (2009) que conferiram altos valores na constante de energia de ligação (2,24-2,65 L.mg<sup>-1</sup>) nos sedimentos do rio Dalião na China, sugerindo que os fortes sítios de ligação foram ocupados e parcialmente saturados pelo fosfato adicionado, principalmente por fontes pontuais e/ou difusas ao longo do rio.

Em adição à baixa capacidade de adsorção máxima em altas concentrações, os sedimentos do rio Corrente dos Matões também exibem uma capacidade de adsorção relativamente baixa em baixas concentrações de P, isto exibido pela baixa constante de adsorção de Freundlich (K) (2,77-39,81 L.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2). Isto pode ser atribuído, principalmente às concentrações de ferro e alumínio amorfo, enquanto a constante empírica da intensidade da ligação (n) apresentaram valores compreendidos entre (0,338-1,063).

## 4. CONCLUSÕES

O período de amostragem (período seco), a baixa capacidade de diluição do rio Corrente dos Matões e algumas atividades antrópicas (fontes de poluição difusas) contribuíram para o aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio total em sedimentos do rio.

Os parâmetros de adsorção de fósforo, através das isotermas de Langmuir e Freundlich, apresentaram o comportamento da adsorção de fósforo que foram maiores na região intermediária do rio, podendo estar associada às características dos sedimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, FERNANDA BENÍCIO COÊLHO. **Caracterização e sorção de fósforo nos sedimentos do rio Corrente dos Matões, Piauí**. 2014. 15 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

BERNER, R. A.; RAO J. L. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 58, n. 10, p. 2333-2339, 1994.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2004. **Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07 jan. 2014.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Transporte de fósforo pela enxurrada em Latossolo que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 115-123, 2010.

EMBRAPA SOLOS. **Solos do Nordeste**. Universidade de Pernambuco – UEP Recife, 2006. Disponível em <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html/>. Acesso em: 06 maio. 2013.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência: Ed. 3, 2011. 790p.

FONSECA, R.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M.; BARRIGA, F. J. A. S. Phosphorus sequestration in Fe-rich sediments from two Brazilian tropical reservoirs. **Applied Geochemistry**, v. 26, n. 7, p. 1607-1622, 2011.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Birigui na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.

GALE, P. M., REDDY, K. R., GRAETZ, D. A. Phosphorus retention by wetland soils used for treated wastewater disposal. **Journal Environmental**, v. 23, p. 370-377, 1994.

HOUSE, W. A.; LEACH, D. V.; ARMITAGE, P. D. Study of dissolved silicon and nitrate dynamics in freshwater stream. **Water Research**, v. 35, n. 11, p. 2749-2757, 2001.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J.; HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal Environ**, v. 30, p. 960-966, 2001.

LIN, C.; WANG, Z.; HE, M.; LI, Y.; LIU, R.; YANG, Z. Phosphorus sorption and fraction characteristics in the upper, middle and low reach sediments of the Daliao river systems, China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 278-285, 2009.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Análítica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

PAULA FILHO, F. J. P.; MOURA, M. C. S.; MARINS, R. V. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual de Química**, v. 4 n. 6, p. 1-17, 2012.

PELLEGRINI, J. B. R.; SANTOS, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 2639-2646, 2008.

PORTO FILHO, E. **A geomorfologia e o manejo do ecossistema**, Geosul: Florianópolis, 1996.

SANTOS, M. L. S.; SARAIVA, A. L. L.; DELFINO, I. B.; ANTUNES, L. C.; BATISTA, R. M. M.; ALVES, I. C. C. Avaliação das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da plataforma continental do rio Amazonas. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 589-596, 2010.

SILVA, M. R.; JR, A. C. G.; PINHEIRO, A.; BENVENUTTI, J.; SUSIN, J. Distribuição de nutrientes em sedimentos fluviais do rio Itajaí - Açú, Blumenau, SC, Brasil. **Revista Ambiente e água**, v. 5, n. 1, p. 102-113, 2010.

YANGA, Y. G.; HEA, Z. L.; LINA Y.; STOFFELLAA, P. J. Disponibilidade do fósforo nos sedimentos de um rio maré que recebe a água de runoff dos campos agrícolas. **Gerência de água Agrícola**, v. 97, p. 1722-1730, 2010.

YOO, J. H., RO, H. M., CHOI, W. J., YOO, S. H., HAN, K. Phosphorus adsorption and removal by sediments of a constructed marsh in Korea. **Ecology**, v. 27, p. 109-117, 2006.

## PHOSPHORUS CHARACTERIZATION AND SORPTION IN THE SEDIMENTOS OF THE CORRENTE DOS MATÕES RIVER, PIAUÍ

**ABSTRACT** – This work had as aimed to evaluate the concentrations of phosphorus and nitrogen in sediments in the dry and rainy seasons and the parameters of sorption phosphorus in the river Corrente dos Matões Parnaíba / PI, and contribute to design strategies for water resources management in the region. The sediment sampling was performed in nine points of the watershed, in the months of September 2013 (dry season) and February 2014 (rainy season), comprising springs, intermediate segments and mouth. Sediment grain size and measures concentrations of fractions of phosphorus (total phosphorus, total inorganic phosphorus, total organic phosphorus) and total nitrogen was carried out, in addition to determining the parameters of sorption. The sampling period (dry period) and the low dilution capacity of the river and some human activities (pollution from diffuse sources) contributed to the increase in the concentrations of total nitrogen and phosphorus in river sediments. In addition, the sorption parameters through the Langmuir isotherm Freundlic showed the behavior of sorption were higher than in the intermediate region of the river can be associated to the characteristics of the sediment.

**KEYWORDS:** adsorption, Langmuir isotherm, phosphate.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ação 9, 62, 91, 107, 115, 122, 125, 143, 154  
Adsorção 142, 143, 145, 146, 147, 151, 152, 153, 154  
Alberta 8, 75, 77, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89  
Alimentação 9, 91, 92, 94, 99, 135  
Amazônia 7, 8, 9, 61, 62, 63, 66, 67, 69, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88  
Análise 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 19, 22, 28, 29, 36, 37, 48, 50, 53, 57, 59, 64, 73, 75, 76, 77, 80, 85, 86, 94, 99, 103, 108, 114, 116, 122, 123, 125, 126, 128, 135, 140, 145, 156  
Anomalia de chuva 7, 8, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38  
Ar frio 61, 69, 73  
Área 7, 9, 14, 47, 49, 62, 63, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 94, 95, 119, 120, 122, 124, 126, 129, 131, 132, 137, 139, 143, 144, 147, 156  
Avaliação 3, 7, 9, 10, 38, 94, 96, 98, 101, 106, 109, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 135, 136, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 146, 150, 154, 155, 156

### B

Banda S 7, 9, 43, 50, 53  
Barbatimão 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 102  
Bicicleta 7, 10, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112  
Boreal 76, 78, 85, 86, 87, 88, 89  
Brasil 7, 8, 12, 14, 22, 36, 47, 59, 62, 71, 75, 76, 87  
Brasileira 7, 8, 37, 61, 73, 76, 77, 85, 87, 88, 113, 124, 126, 140, 141, 154

### C

Caracterização 28, 37, 58, 63, 73, 77, 125, 126, 129, 132, 141, 142, 153  
Climatológicas 7, 8, 22, 22, 75

Cobertura 76, 148  
Comportamento 7, 9, 12, 13, 31, 54, 57, 58, 63, 77, 84, 85, 86, 99, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 115, 142, 153  
Compra 7, 10, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113  
Corrente dos Matões 142, 147, 148, 149, 150, 151, 153, 155

### D

Década 7, 8, 27, 28, 104  
Dias 7, 8, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 37, 45, 61, 64, 66, 69, 70, 71, 73, 84, 87, 93, 94, 100, 109, 114, 116, 122, 123, 128  
Dias chuvosos 7, 8, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22  
Disdrômetro 43, 44, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 59  
Distribuição 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 28, 31, 32, 35, 36, 37, 43, 44, 50, 52, 55, 58, 67, 69, 70, 78, 79, 80, 109, 121, 125, 148, 155  
Distribuições de probabilidade 12, 14, 17, 19, 20, 21, 22

### E

Empírico 7, 10, 103  
Estação meteorológica 13, 61  
Estatística 17, 30, 53, 72, 76, 77, 78, 80, 85, 94, 108  
Evento 8, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 45, 46, 47, 48, 59, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 119, 138, 150  
Extrato 7, 10, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102

### F

Floresta Boreal 76, 78, 85, 86  
Florestais 8, 75, 76, 85, 87  
Florestal 66, 85, 118, 119, 121, 124, 125, 121  
Fosfato 143, 146, 152, 153

Fósforo 7, 9, 142, 143, 145, 146, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 151  
Friagem 7, 8, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73

## H

Humaitá 61, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 73, 74

## I

IAC 27, 28, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38  
Impactos ambientais 7, 8, 10, 116, 116, 116, 117, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 122, 122, 122, 122, 123, 123, 124, 124, 125, 126, 127, 127, 128, 136  
Incêndios 7, 8, 75, 76, 84, 85, 86, 87  
Índice de anomalia 7, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38  
Intenção de Compra 10, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113  
Isoterma de Langmuir 142, 146, 151

## K

KDP 43, 44, 45, 47, 50, 53, 57, 58, 59, 60

## L

Langmuir 142, 146, 147, 151, 152, 153, 155  
Legal 7, 8, 62, 75, 77, 78, 88, 89, 119  
Leste 45, 47, 58, 129

## M

Maceió 8, 43, 47, 58, 59  
Materiais plásticos 10, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113  
Meio ambiente 72, 103, 105, 106, 110, 113, 118, 123, 156  
Metanólico 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99  
Meteorológico 7, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 58, 62, 63, 64, 68, 72, 86  
Micrometeorológica 7, 8, 61, 63, 64, 73

## N

Nordeste 45, 47, 56, 58, 125, 129, 154

## P

Paraná 8, 12, 14, 17, 18, 20, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 61, 75, 156

Piauí 7, 10, 116, 126, 127, 128, 129, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 153, 155

Planejado 7, 10, 103, 104, 105, 107, 108, 111, 112, 113, 115

Plantas inseticidas 91, 100

Plásticos reciclados 103, 105, 108, 109, 111, 112

Polarimetria 43, 56, 58

Polarimétricas 8, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 57

Precipitação 8, 12, 13, 17, 18, 22, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 53, 56, 57, 58, 61, 62, 64, 65, 66, 70, 71, 72, 76, 84, 85, 86, 120, 129

Probabilidade 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 94, 95, 96, 97, 105, 106, 108, 109

Protocolo 7, 10, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 136, 139, 140, 141

Província 7, 8, 75, 76, 77, 78

## Q

Qualidade da água 116, 117, 118, 123, 124, 126, 128, 135, 140

Queimada 7, 8, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 120

## R

Radar Meteorológico 8, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 58

Rápida 99, 116, 123, 124, 125, 126, 128, 130, 132, 136, 139, 140, 141

Região 7, 8, 12, 13, 14, 17, 22, 23, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 43, 45, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 109, 122, 124, 126, 136, 140, 142, 144, 148, 150, 153, 154

Regiões climatológicas 7, 8, 75

Reprodução 10, 91, 99, 135

Rio 7, 10, 17, 19, 20, 23, 37, 47, 62, 63, 68, 100, 101, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 134, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

**S**

Sazonalidade 8, 61, 63, 64, 66, 72, 73, 85, 86  
Século 8, 27, 28, 36, 117  
Sedimentos 7, 10, 139, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 153, 154, 155  
Sorção 7, 10, 142, 148, 153  
Sudoeste 7, 8, 61, 63, 69, 73, 143  
Sul 7, 8, 12, 14, 17, 19, 22, 29, 35, 36, 47, 61, 62, 68, 71, 72, 78, 126, 129, 150

**T**

Teoria 7, 10, 103, 104, 105, 107, 108, 111, 112, 113, 125  
Traça-das-crucíferas 91  
Trecho 7, 10, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 148, 151

**V**

Variáveis 7, 8, 22, 27, 36, 43, 44, 45, 64, 75, 96, 106, 108, 109, 111, 112, 113, 125, 148  
Verossimilhança 12, 13, 19  
Visão 7, 8, 75, 86

**Z**

ZDR 43, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60

# **SOBRE OS ORGANIZADORES**

## **Marcelo Rosolem Luchetti**

Graduação em Tecnologia em Informática pela Faculdade de Informática e Administração Paulista (2002). Mestre em Administração - Gestão Ambiental e Sustentabilidade pela Universidade Nove de Julho (2019). Doutorado em andamento em Engenharia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor colaborador e coordenador de Estágio Curricular Supervisionado no Departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá (UEM). 20 anos de experiência profissional na área de tecnologia, atuando com análise e desenvolvimento de software, com ênfase em BI (Business Intelligence) para empresas de médio e grande porte, em diversos segmentos (Bancário, Telecomunicações, Seguros, Previdência, Jurídico e Instituição Educacional).

## **Patricia Almeida Sacramento**

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2006), Mestre em Ciências Ambientais (2011) e Doutora em Ciências (2016), pelo Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista de Mestrado e Doutorado pelo CNPq. Tem desenvolvido trabalhos nas áreas de Ecologia de ecossistemas aquáticos, Educação Ambiental e Resíduos Sólidos atuando nas seguintes linhas de pesquisa: ecologia trófica, ecologia isotópica, estrutura de metacomunidades, diagnóstico ambiental de riachos e diagnóstico da geração de resíduos sólidos. Atualmente é professora colaboradora no Departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá.

## **Yara Campos Miranda**

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), instituição na qual também realizou uma especialização em Gestão Ambiental de Municípios (2018). É mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente, está concluindo o doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), trabalhando com planejamento ambiental, valoração ambiental e avaliação de impactos ambientais. Possui experiência na área ambiental, atuando como conteudista para a Kroton Educacional e professora colaboradora no Departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá.



# **Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente Vol. II**

[www.bookerfield.com](http://www.bookerfield.com) 

[contato@bookerfield.com](mailto:contato@bookerfield.com) 

[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield) 

Bookerfield Editora 

# **Pesquisas Multidisciplinares Aplicadas ao Meio Ambiente Vol. II**

[www.bookerfield.com](http://www.bookerfield.com) 

[contato@bookerfield.com](mailto:contato@bookerfield.com) 

[@bookerfield](https://www.instagram.com/bookerfield) 

Bookerfield Editora 

ISBN: 978-65-89929-02-4

