

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 4

Alan Mario Zuffo  
(Organizador)



Alan Mario Zuffo

(Organizador)

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 4

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E57 Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 4 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-252-4

DOI 10.22533/at.ed.524191104

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária.  
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 628

Elaborado por Maurício Amormino Júnior I CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu IV volume, apresenta, em seus 19 capítulos, os conhecimentos tecnológicos da engenharia sanitária e ambiental.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas. Com o crescimento populacional e a demanda por alimentos tem contribuído para o aumento da poluição, por meio de problemas como assoreamento, drenagem, erosão e, a contaminação das águas pelos defensivos agrícolas. Tais fatos, podem ser minimizados por meio de estudos e tecnologias que visem acompanhar as alterações do meio ambiente pela ação antrópica. Portanto, para garantir a sustentabilidade do planeta é imprescindível o cuidado com o meio ambiente.

Este volume dedicado à diversas áreas de conhecimento trazem artigos alinhados com a Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade. A sustentabilidade do planeta é possível devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a Engenharia Sanitária e Ambiental, assim, garantir perspectivas de solução de problemas de poluição dos solos, rios, entre outros e, assim garantir para as atuais e futuras gerações a sustentabilidade.

Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
O BANHEIRO SECO COMO MEDIDA MITIGADORA PARA O CONTROLE DE DOENÇAS ASSOCIADAS À FALTA DE SANEAMENTO EM CACHOEIRA DO ARARI, SALVATERRA E SOURE, NA ILHA DO MARAJÓ-PA	
Fernando Felipe Soares Almeida Aline Martinho Trindade Ferreira Evelyn Wagemacher Cunha Gabriel Almeida Silva Larissa Delfino Santana Rocha Loreno da Costa Francez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
PESQUISA DA QUALIDADE HIGIÊNICO-SANITÁRIA DE ÁGUA DE CULTIVOS E PEIXES PROVENIENTES DE 10 PESQUE-PAGUES LOCALIZADOS NO RECÔNCAVO BAIANO	
Adriana Santos Silva Danuza das Virgens Lima Daniela Simões Velame Crisnanda da Silva e Silva Ludmilla Santana Soares e Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
PESQUISA PARTICIPATIVA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BAIRRO SÁ VIANA, SÃO LUÍS, MA, BRASIL	
Letícia Fernanda Brito Moraes Juliana de Faria Lima Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
PROPOSTA DE ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS ORIUNDAS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO SETOR BÁSICO DA UFPA/BELÉM	
Adenilson Campos Diniz André Luiz da Silva Salgado Coelho Hélio da Silva Almeida Amanda Queiroz Mitozo Yuri Bahia de Vasconcelos Neyson Martins Mendonça	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NAS ETAPAS DE CORTE E PLAINAGEM DO SETOR MOVELEIRO QUE UTILIZA MDF NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA	
Elysson Filipe de Sousa Silva Raíza Pereira Bandeira Antônio Pereira Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911045</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>77</b>
QUANTIFICAÇÃO DO DESPERDÍCIO DE ÁGUA POTÁVEL NO PROCESSO DE DESTILAÇÃO E ALTERNATIVAS DE REUSO	
Mariane Santana Silva Jaira Michele Santana Silva Micaelle Almeida Santos Joseane Oliveira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>84</b>
QUANTUM DOTS FROM RENEWABLE PRECURSORS INCORPORATED AT ZINC OXIDE BY SONOCHEMICAL METHOD FOR PHOTOCATALYTIC PROPERTIES	
Mayara Feliciano Gomes Yara Feliciano Gomes André Luis Lopes Moriyama Eduardo Lins de Barros Neto Carlson Pereira de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>100</b>
REGIONALIZAÇÃO DE CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÃO PARA A SUB- BACIA DO RIO MADEIRA	
Letícia dos Santos Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>114</b>
REÚSO DE ÁGUA EM EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS	
Antonio de Freitas Coelho Ailton Braz da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>126</b>
SANEAMENTO: INTERFERÊNCIA NA SAÚDE PÚBLICA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO	
Francisco Das Chagas Sa Cabedo Junior; Keven Barbosa da Silva Cunha; Anderson Luiz da Silva Aguiar Francisco Daniel Nunes Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>135</b>
TiO <sub>2</sub> SUPORTADO EM VIDRO COMO FOTOCATALISADOR PARA DEGRADAÇÃO DE LARANJADO DE METILA	
Siara Silvestri Fernanda C. Drumm Patrícia Grassi Jivago S. de Oliveira Edson L. Foletto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110411</b>	

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>145</b>
USO DA ÁGUA DOS APARELHOS DE AR CONDICIONADO NO CAMPUS PARALELA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO JORGE AMADO – UNIJORGE	
Alex dos Santos Queiroz Laís Lage dos Santos José Arthur Matos Carneiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>151</b>
USO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA NA REMOÇÃO DO CORANTE VIOLETA	
Jordana Georjin Paola Rosiane Teixeira Hernandes Letícia de Fátima Cabral de Miranda Daniel Allasia Guilherme Luiz Dotto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>158</b>
UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA PARA IRRIGAÇÃO DE GRAMA	
Lucas Oliveira de Souza Sandra Zago Falone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS CATIÔNICOS ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DA ÁGUA: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TANÍFERO DE PLANTAS DO SEMIÁRIDO BAIANO	
Thailany de Almeida Magalhães Aura Lacerda Crepaldi Yuji Nascimento Watanabe Floricea Magalhães Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>179</b>
UTILIZAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS PRESENTES EM CINCO PONTOS DO RIO BUCANHA LOCALIZADO NA CIDADE DE TRACUATEUA, NORDESTE PARAENSE	
Renata Conceição Silveira Sousa Sávio Costa de Carvalho Mauro André Damasceno de Melo Cristovam Guerreiro Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>186</b>
UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO LEITO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIA	
Letícia dos Santos Costa Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>199</b>
VARIABILIDADE DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PARÁ	
Jakeline Oliveira Evangelista Samira Alves Silva	

Phaloma Aparecida  
Tathiane Santos da Silva  
Glauber Epifânio Loureiro

**DOI 10.22533/at.ed.52419110418**

**CAPÍTULO 19 ..... 209**

WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS  
LÍQUIDOS DE BOVINOCULTURA DE LEITE

Kiane Cristina Leal Visconcin

Henrique Moreira Dutra

Liniker Rafael Rodrigues

Edu Max da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.52419110419**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 214**



## REGIONALIZAÇÃO DE CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÃO PARA A SUB- BACIA DO RIO MADEIRA

**Letícia dos Santos Costa**

Instituto Federal do Pará

Belém – Pará

**RESUMO:** A regionalização de curvas de permanência de vazões apresenta-se como uma técnica importante, permitindo a estimativa de vazões em locais com dados insuficientes ou inexistentes. O modelo teve como base de dados 12 estações fluviométricas distribuídas nos principais rios que compõem a bacia do Rio Madeira. As curvas de permanência foram calibradas utilizando-se 4 modelos matemáticos de regressão: exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico. O modelo de regionalização foi estabelecido, usando-se a técnica de regressão múltipla. A variação espacial dos parâmetros dos modelos foi explicada em termos de área de drenagem, precipitação média anual e comprimento do rio. O modelo foi validado utilizando o método Jack-knife, obtendo resultados satisfatórios pelos ajustes gráficos das vazões simuladas e observadas em estações com área de drenagem compreendidas entre 921000 a 1150000 Km<sup>2</sup>. O melhor ajuste do modelo cúbico foi representado matematicamente pelos erros quadráticos relativos médios percentuais abaixo de 10%. O desempenho do modelo calibrado e validado demonstra o potencial deste na estimativa das

curvas de permanência para os rios com grande área de drenagem que compõem a bacia do Rio Madeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Regionalização, Curva de Permanência, Bacia Rio Madeira.

**ABSTRACT:** The regionalization of flow continuity curves is an important technique, allowing the estimation of flows in places with insufficient data or nonexistent data. The model was based on 12 fluviometric stations distributed in the main rivers that make up the Madeira River basin. The permanence curves were calibrated using 4 mathematical models of regression: exponential, logarithmic, quadratic and cubic. The regionalization model was established using the multiple regression technique. The spatial variation of the model parameters was explained in terms of drainage area, annual mean rainfall and river length. The model was validated using the Jack-knife method, obtaining satisfactory results by the graphical adjustments of the simulated and observed flows in stations with drainage area between 921000 to 1150000 Km<sup>2</sup>. The best fit of the cubic model was represented mathematically by mean square error relative to percentages below 10%. The performance of the calibrated and validated model demonstrates the potential of this model in the estimation of the permanence curves for the rivers with large drainage area that compose

## 1 | INTRODUÇÃO

O estudo de vazões é fundamental para o entendimento da dinâmica do ciclo da água em bacias hidrográficas, pois representa a resposta da bacia às alterações climáticas e antrópicas, como eventos extremos de precipitação e mudanças no uso do solo, servindo como base para efetivo acesso e controle dos múltiplos usos da água, seja para geração de energia elétrica, agricultura, sistema de abastecimento de água, esgotamento sanitário, navegação etc. Desta forma, para o gerenciamento dos recursos hídricos de determinada região, as condições climáticas e o regime hidrológico devem ser analisados.

Segundo Gontijo Junior e Koide (2012), para que a rede de monitoramento fluviométrica seja eficiente, as estações devem ser instaladas de forma que sua densidade e distribuição espacial na região permita que se determine com precisão, as características básicas dos elementos hidrológicos de qualquer parte dessa região.

A regionalização hidrológica consiste na utilização de um conjunto de ferramentas que buscam formas de transferência de informações de um local para outro da bacia hidrográfica, com o intuito de suprir esta carência de informações numa dada região. As diversas fases e procedimentos de um estudo de regionalização são resumidos por Tucci (1993).

A regionalização hidrológica consiste na utilização de um conjunto de ferramentas que buscam formas de transferência de informações de um local para outro da bacia hidrográfica, com o intuito de suprir esta carência de informações numa dada região. As diversas fases e procedimentos de um estudo de regionalização são resumidas por Tucci (1993).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi aplicar a metodologia de Mimikou e Kaemaki (1985), na sub-bacia do Rio Madeira, utilizando 12 estações fluviométricas pertencentes à região da bacia, buscando avaliar o desempenho do modelo calibrado e validado no potencial deste, na estimativa das curvas de permanência para os rios com dados hidrológicos escassos que compõem a bacia do Rio Madeira.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo e Dados Utilizados

A bacia do rio Madeira está localizada na região amazônica, a margem esquerda do rio Amazonas, banhando os estados de Rondônia e do Amazonas, com superfície aproximada de 1.420.000 km<sup>2</sup> e área de drenagem de 1.324.727 km<sup>2</sup>. A bacia representa 23% do total da bacia Amazônica e se estende por três países da América do Sul, Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%), (Guyot, 1993).

A bacia do rio Madeira possui as três unidades morfo-estruturais apresentadas com a seguinte proporção: Andes (15%), planície Amazônica (44%) e escudo Brasileiro (41%). Devido a essa característica, verificam-se grandes altitudes na parte montante da bacia, vastas zonas de inundação na planície como dos rios Guaporé, Beni e Mamoré apresentam várzeas que totalizam 150.000 km de extensão, enquanto que o rio Madeira, entre a confluência dos rios Beni e Mamoré até a foz, possui 12.800 km de várzea e a presença de cachoeiras no escudo brasileiro, principalmente próximo a Porto Velho (RIBEIRO NETO, 2006).

Quanto ao clima a bacia do rio Madeira possui aspectos semelhantes à bacia Amazônica, caracterizando-se por um clima quente e úmido (clima equatorial) com temperatura média anual variando entre 24 e 26 °C na planície Amazônica. Nos planaltos e nos Andes a temperatura média é mais baixa, sendo que, no caso dos Andes, verifica-se inclusive precipitação em forma de neve (RIBEIRO NETO, 2006). O rio Madeira é o mais importante tributário do rio Amazonas, na parte sul da bacia Amazônica, com uma descarga média anual de 31.200 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (ANDRADE, 2008), favorecendo e potencializando a geração de energia elétrica, uma vez que muitos afluentes do rio possuem características que se adéquam às condições básicas para a construção de usinas hidrelétricas.

A região do Madeira apresenta clima e relevo variados com elevadas altitudes na região Andina (Bolívia) aproximando-se de 6400 metros, até profundos vales atingindo a planície amazônica com quase 500 metros; além das zonas de instabilidade climática, influenciados por fenômenos de circulação atmosférica e chuvas intensas determinando um alto índice de vazão, e umidade da esfera gasosa que envolve a terra. A distribuição de chuvas pode ser explicada, em geral, pela dinâmica das principais massas de ar ativas em parte da América do Sul, e pela influência das montanhas na cordilheira dos Andes, tanto na escala continental quanto na escala de vales.

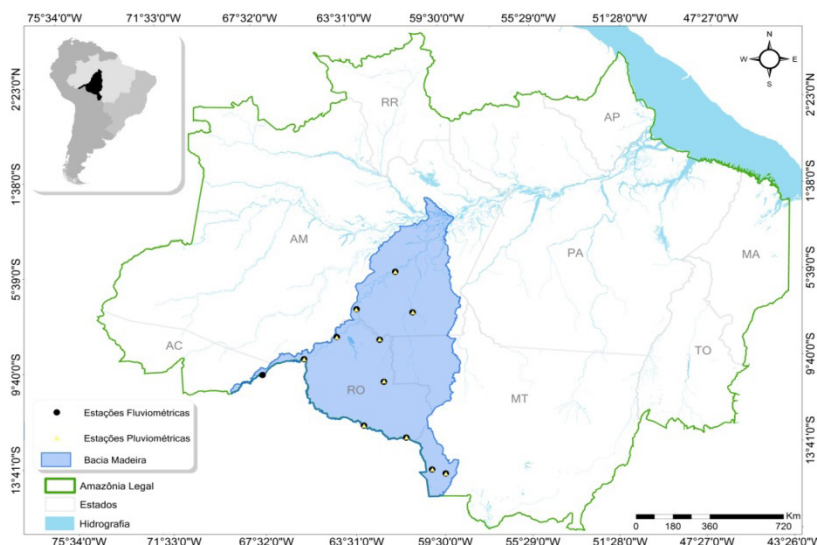


Figura 1- Mapa de localização da Sub-Bacia do Rio Madeira.

Fonte: Autora, 2018

O presente estudo envolveu 12 estações fluviométricas e 12 pluviométricas localizadas na sub-bacia do Rio Madeira. A distribuição espacial das estações fluviométricas e pluviométricas consideradas no estudo; é apresentada na Figura 1. As estações fluviométricas com suas respectivas informações morfoclimáticas (Tabela 1) foram obtidas a partir da base de dados da Agência Nacional de Água (ANA), em Brasil (2015).

Código	Rio	Nome	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(km)
15050000	Guaporé	Pontes e Lacerda	2990	1521	245
15120001	Guaporé	Mato Grosso	22500	1399	230
15130000	Guaporé	Pimenteiras	54400	1968	746
15150000	Guaporé	Pedras negras	110000	1511	460
15320002	Madeira	Abunã	921000	1841	433
15324000	Abunã	Palmeiral	7740	1654	62
15400000	Madeira	Porto Velho	976000	2245	148
15560000	Jiparaná	Ji-Paraná	32800	1941	406
15580000	Jiparaná	Tabajara	60200	2368	88
15630000	Madeira	Humaitá	1090000	2276	549
15700000	Madeira	Manicoré	1150000	2530	221
15800000	Aripuanã	Boca do Guariba	70100	2935	320

Tabela 1: Informações Morfoclimáticas das Estações Fluviométricas usadas na Calibração.

As 12 estações fluviométricas utilizadas, foram usadas para a calibração do modelo e validação do estudo. Além dos dados de vazões mensais e precipitações médias anuais, também foram usadas características fisiográficas, como: área de drenagem, e comprimento do rio. Para cada estação fluviométrica foi atribuído um valor de precipitação média anual que foi obtido de 12 estações pluviométricas, levando em consideração a posição geográfica (Latitude e Longitude) das estações e a consistência dos dados.

## 2.2 Calibração das Curvas de Permanências de Vazão

A calibração das curvas de permanência foi efetuada, seguindo a obra de Mimikou e Kaemaki (1985). Nesse caso, foram usados, 4 modelos matemáticos: exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico para a calibração das curvas de permanência de vazões. Esses modelos são descritos nas equações 1 – 5.

$$Q = a \cdot \exp. (-b \cdot D) \quad (1)$$

$$Q = a - b \cdot \ln D \quad (2)$$

$$Q = a - b \cdot D + c \cdot D^2 \quad (3)$$

$$Q = a - b \cdot D + c \cdot D^2 - d \cdot D^3 \quad (4)$$

Em que, Q - vazão em m<sup>3</sup>/s; os parâmetros a, b, c e d são constantes positivas que serão determinados pelo método dos mínimos quadrados e podem ser interpretados como representativos das informações físicas e climáticas e D é a permanência em %.

Dos dados das 12 estações utilizadas na calibração foram selecionados 25 pares de Q (m<sup>3</sup>/s) x D (Permanência %), onde a permanência foi dividida em intervalos de 4% até alcançar os 100%. A partir desses pares, foram produzidas as curvas de permanência. Para efetivar a calibração dos cinco modelos, foi utilizada uma planilha eletrônica, esta, por sua vez, através do método dos mínimos quadrados, gerou os parâmetros a, b, c e d, para cada modelo matemático testado.

### 2.3 Critérios de desempenho dos Modelos

No desempenho do modelo na calibração foram considerados o erro quadrado relativo médio percentual,  $\epsilon\%$  (equação (5)) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) (equação (6)).

$$\epsilon = N^{-1} \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_i - \hat{Q}_i}{Q_i} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot 100 \quad (5)$$

Sendo:

$Q_i$  = vazão observada (m<sup>3</sup>/s);

$\hat{Q}_i$  = vazão estimada pelo modelo de regionalização (m<sup>3</sup>/s); e

$N$  = número total de vazões observadas.

$$R^2_a = 1 - \frac{n-1}{n-p-1} \cdot (1 - R^2) \quad (6)$$

Sendo:

$R^2_a$  = coeficiente de determinação ajustado.

$n$  = número de valores observados;

$p$  = número de variáveis independentes;

$R^2$  = coeficiente de determinação.

Na etapa de validação, foram utilizados os valores do erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) e os coeficientes de Nash-Sutcliffe (Nash) (equação (7)), para se avaliar o desempenho do modelo. Nash & Sutcliffe (1970) propuseram uma equação que compara a redução do desvio quadrático do erro do modelo com o desvio quadrático do modelo alternativo de prever sempre a média dos valores.

O coeficiente de Nash pode variar a partir de  $-\infty$  a 1,0. Quanto mais próximo de 1, mais exato será o modelo. O valor de Nash é fortemente influenciado por erros nas

vazões máximas, por isto, quando Nash é próximo de 1, o modelo está obtendo um bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de Nash supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de Nash ficar entre 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_m)^2} \quad (7)$$

Sendo,

Nash o coeficiente de Nash-Sutcliffe;

$Q_i$  a vazão observada;

$\hat{Q}_i$  a vazão simulada pelo modelo;

$\bar{Q}_m$  a média das vazões observadas.

## 2.4 Regionalização

A regionalização foi efetuada por meio da técnica da regressão múltipla dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  do modelo cúbico, obtidos através do processo de calibração, em função das características das bacias analisadas, que são: área de drenagem, precipitação média anual e comprimento do rio, representadas por  $A$  (km<sup>2</sup>),  $P$  (mm) e  $L$  (m), respectivamente.

Foi utilizada a equação de regressão linear (equação 8) para efetivar a regionalização, uma vez conhecidos os valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  do modelo cúbico e das características físicas e climáticas das bacias em estudo.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 \dots + \beta_i \cdot X_i + \epsilon \quad (8)$$

Sendo:

$Y$  = variável dependente;

$\beta_0$  = constante de regressão;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$  = coeficientes de regressão;

$X_1 \dots X_i$  = variáveis independentes ou explicativas;

$\epsilon$  = erro da regressão.

## 2.5 Validação do Modelo

Para a validação dos modelos de regressão, foram quantificados e analisados os erros contidos no modelo regional. Foi utilizado o método Jack-knife, o qual consiste em uma repetida análise espacial dos resultados excluindo-se uma das estações

para a regressão com a finalidade de validar o modelo utilizando a mesma. Esse procedimento deve ser feito para todas as estações utilizadas na regionalização dos parâmetros do modelo, visando verificar se os erros contidos no modelo são aceitáveis.

Este procedimento é resumido por Castellarin *et al.* (2007), e foi utilizado por Shu e Ouarda (2012), para avaliar o desempenho do método de estimativas de vazões diárias aplicados à rede de estações fluviométricas de Quebec, Canadá, o procedimento foi adaptado para as seguintes etapas:

- **Etapa 1:** selecionam-se as características morfoclimáticas e os valores dos parâmetros **a, b, c e d**, obtidos na calibração para as  $N$  estações fluviométricas utilizadas no estudo;
- **Etapa 2:** uma das estações definida como bacia-alvo, é retirada do modelo ajustado; e então é aplicada a técnica de regressão múltipla para obter o modelo regional dos dados das  $N-1$  estações restantes;
- **Etapa 3:** o modelo regional produzido na etapa 2 é aplicado aos dados da bacia-alvo para calcular os parâmetros  $a, b, c$  e  $d$ ;
- **Etapa 4:** de posse dos parâmetros  $a, b, c$  e  $d$  é feita a estimativa de vazões para a bacia-alvo;
- **Etapa 5:** as vazões estimadas na etapa 4 são comparadas com as vazões observadas da bacia-alvo, calculando-se o erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (Nash), que são utilizados para avaliar o método;
- **Etapa 6:** as etapas 2 a 5 são repetidas  $N$  vezes, de forma que cada estação torne-se bacia-alvo, podendo-se ao final obter valores para analisar a eficiência do modelo.

A escolha desse procedimento deve-se à possibilidade de se fazer um número de regionalizações igual ao número de estações disponíveis em uma região, de forma que, para cada curva estimada, exista uma curva observada para comparação e análise, visando verificar se os erros contidos no modelo são aceitáveis.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Calibração

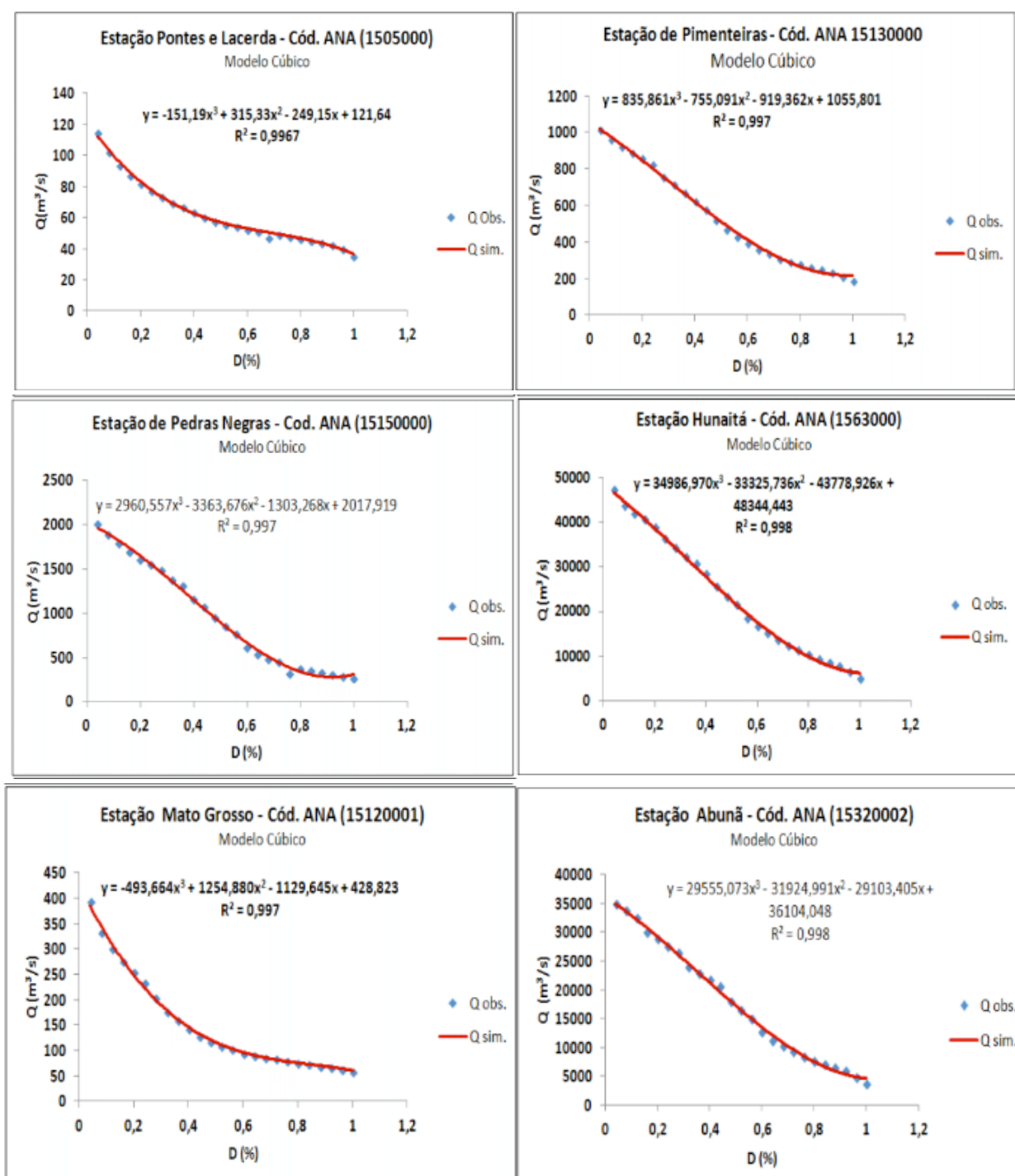
O modelo cúbico apresentou-se como o mais adequado para se efetivar a regionalização, pois apresentou os resultados mais satisfatórios, com menor  $\epsilon\%$ , maior  $R^2_a$  e melhor ajuste das curvas de permanência calibradas. As médias dos resultados obtidos para cada modelo estão apresentadas na Tabela 2.

Modelo								
	Cúbico		Logarítmico		Exponencial		Quadrático	
	ε %	R <sup>2</sup> _a	ε %	R <sup>2</sup> _a	ε %	R <sup>2</sup> _a	ε %	R <sup>2</sup> _a
Média	<b>0,0189</b>	<b>0,9966</b>	0,0415	0,931	0,0231	0,9801	0,0215	0,9924

Tabela 2: Resumo da Média dos Erros (%) e R<sup>2</sup>\_ajustado (R2\_a)

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 2 apresenta as curvas de permanência calibradas para cada uma das regiões hidrográficas analisadas. Pode-se observar na Tabela 2, que o modelo cúbico (Equação 5), ajustou-se melhor às curvas de permanência observadas.





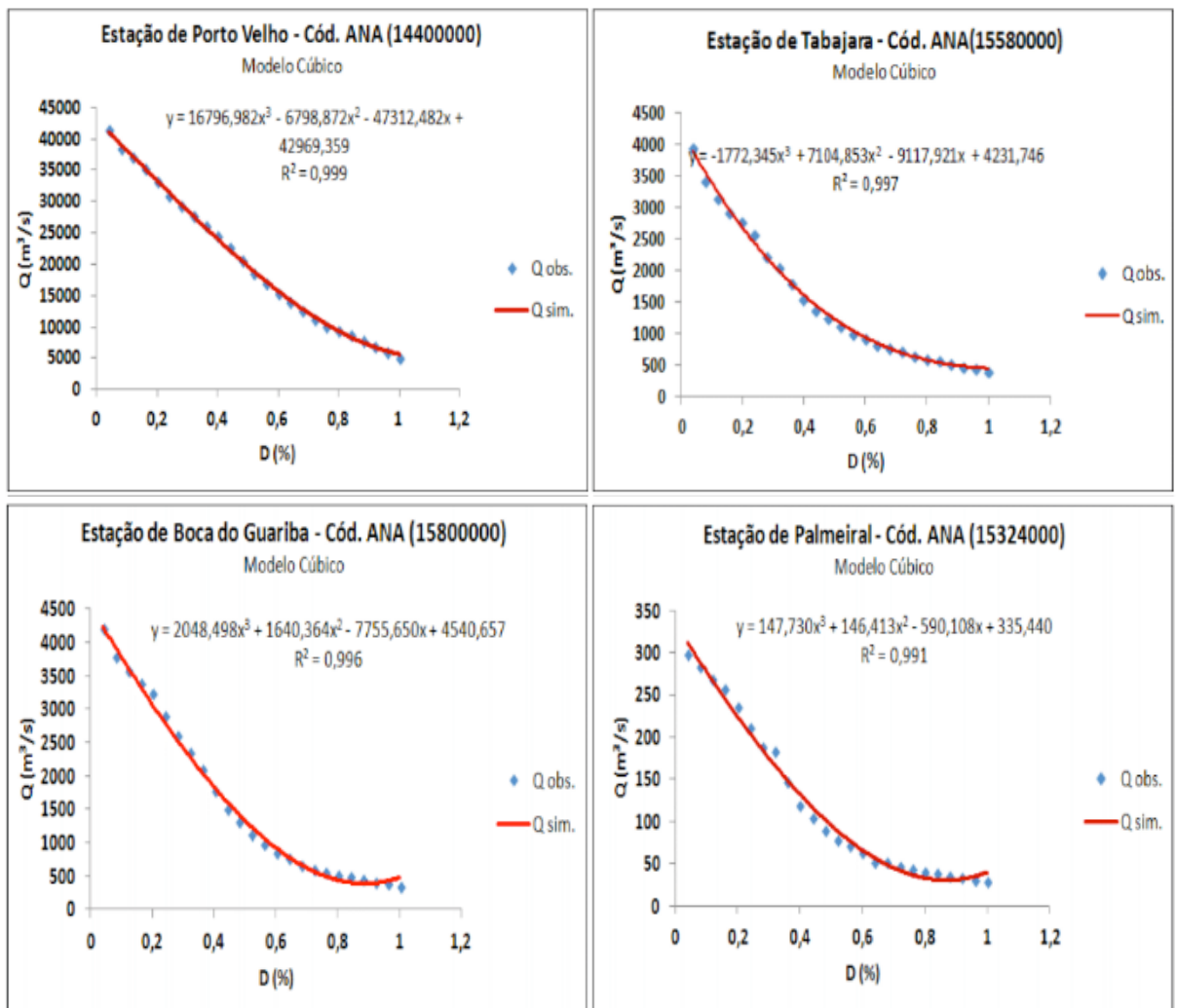


Figura 2- Curvas de Permanência Observadas e Simuladas

Fonte: Autora, 2018

### 3.2 Análise de Multicolinearidade

Como não houve multi-colinearidade, pois nenhum valor aproximou-se de 0,85, todas as variáveis independentes foram utilizadas na regionalização (Tabela 3).

	A(Km <sup>2</sup> )	P(mm)	L(Km)
A(Km <sup>2</sup> )	1		
P(mm)	0,3743	1	
L(Km)	0,064	-0,0421	1

Tabela 3 – Matriz de correlação entre as variáveis independentes

Fonte: Autora, 2018.

### 3.3 Modelo de regressão utilizado na Regionalização

A Tabela 4 resume os valores dos parâmetros do modelo cúbico, os quais foram obtidos das curvas calibradas. Os parâmetros *a*, *b*, *c* e *d* podem ser interpretados

como representativos das informações físicas e climáticas, que exercem influência nas vazões.

Código	Estação	Parâmetros e R <sup>2</sup> – quadrado				R <sup>2</sup> _a
		a	b	c	d	
15130000	Pimenteiras	1055,8	919,36	755,09	835,86	0,9968
15150000	Pedras negras	2017,91	1303,26	3363,67	2960,55	0,9968
15320002	Abunã	36104,04	29103,4	31924,99	29555,07	0,9979
15400000	Porto Velho	42969,35	47312,48	6798,87	16796,98	0,9989
15560000	Ji-Paraná	2119,79	4516,48	3297,43	623,51	0,9968
15580000	Tabajara	4231,74	9117,92	7104,85	1772,34	0,9968
15630000	Humaitá	48344,44	43778,92	33325,73	34986,97	0,9979
15700000	Manicoré	54318,39	59193,16	11806,36	24014,28	0,9989
15800000	Boca do Guariba	4540,65	7755,65	1640,36	2048,49	0,9958
15050000	Pontes e Lacerda	121,64	249,15	315,33	151,19	0,9958
15120001	Mato Grosso	428,82	1129,64	1254,88	493,66	0,9968
15324000	Palmeiral	335,44	590,108	146,41	147,73	0,9906

Tabela 4 – Parâmetros e coeficientes de determinação ajustado das equações de regressão do modelo cúbico.

Fonte: Autora, 2018.

A partir da aplicação do processo de regressão foram obtidos os modelos de regionalização linear (Tabela 5). Esses modelos podem ser usados para estimar os valores dos parâmetros e, portanto, construir uma curva de permanência de vazões da forma cúbica para qualquer outro local da sub-bacia do Rio Madeira que apresentarem áreas de drenagem elevadas.

Modelo de regionalização Cúbico Linear
a= -4277,712 + 0,04346. A + 2,83199.P - 4,11092.L
b= -8117,253 + 0,04061.A + 7,04322.P - 12,9632.L
c= 1500,356 + 0,0188.A - 2,2805.P + 13,7911.L
d= -275,6978 + 0,0255.A - 1,3048.P + 8,7699.L

Tabela 5- Modelo de Regionalização Cúbico Linear.

Fonte: Autora, 2018.

### 3.4 Validação

O erro relativo médio apresentou variabilidade alta e ocorreu coeficiente de Nash negativos em algumas bacias, devido o modelo ter produzido translação da curva estimada em relação à observada (Tabela 6). Segundo, Pessoa (2011) esta discrepância, entre os valores encontrados para as bacias-alvo, pode ter ocorrido devido a grande variabilidade das áreas de drenagem das bacias de cada posto fluviométrico disponível na região. No entanto, o modelo que apresentou resultados satisfatórios

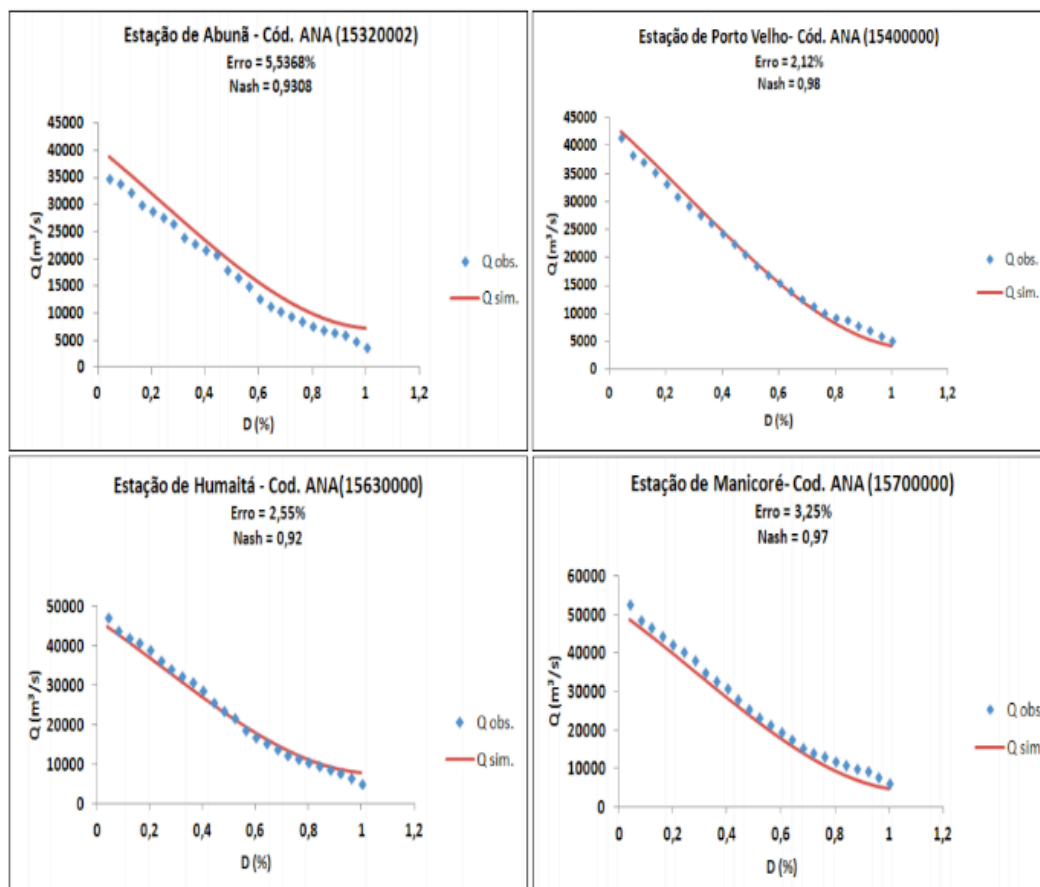
apenas nas bacias Abunã, Porto Velho, Humaitá e Manicoré, todas pertencentes ao rio Madeira.

Código	Bacia- Alvo	Linear	
		Erro (%)	Nash
15050000	Pontes e Lacerda	264	-1412
15120001	Mato Grosso	252	-3812
15130000	Pimenteiras	116	-6,45
15150000	Pedras negras	4685	-15761
15320002	<b>Abunã</b>	<b>5,53</b>	<b>0,93</b>
15324000	Palmeiral	2165	1905
15400000	<b>Porto Velho</b>	<b>2,12</b>	<b>0,98</b>
15560000	Ji-Paraná	34,64	-0,76
15580000	Tabajara	116	-8,44
15630000	<b>Humaitá</b>	<b>2,55</b>	<b>0,92</b>
15700000	<b>Manicoré</b>	<b>3,25</b>	<b>0,97</b>
15800000	Boca do Guariba	276	-24
<b>Média</b>		<b>660</b>	<b>-1592</b>

Tabela 6 – Valores do Erro relativo médio e coeficiente de Nash de cada bacia-alvo

Fonte: Autora, 2018.

Na Figura 3, podem-se observar o erro quadrático relativo médio percentual e o coeficiente de Nasch, os ajustes da curva de permanência das bacias-alvo de Abunã, Porto Velho, Humaitá e Manicoré, do modelo linear.



Fonte: Autora, 2018.

Foram retiradas as bacias alvo de Abunã, Porto Velho, Humaitá e Manicoré por apresentarem áreas de drenagem muito extensas e novamente foi realizado o método Jack-knife para 8 estações restantes. Observou-se que o erro quadrático médio e o coeficiente de Nash apresentaram valores melhores do que na modelagem anterior, mas o modelo não apresentou resultados satisfatórios, sugerindo aplicar modelos não lineares.

Código	Bacia- Alvo	Linear	
		Erro (%)	Nash
15050000	Pontes e Lacerda	50	-3,4
15120001	Mato Grosso	134	-26
15130000	Pimenteiras	41	-4,8
15150000	Pedras negras	456	-172
15324000	Palmeiral	197	-25
15560000	Ji-Paraná	27	0,53
15580000	Tabajara	47	0,29
15800000	Boca do Guariba	65	-0,37
<b>Média</b>		<b>127</b>	<b>-28,84</b>

Tabela 7 – Valores do Erro relativo médio e coeficiente de Nash de cada bacia-alvo

Fonte: Autora, 2018

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, aplicou-se um modelo de regionalização de curvas de permanência de vazão para a sub-bacia do Rio Madeira. Foram utilizadas características físico e climáticas de 12 estações fluviométricas. As curvas de permanência de vazões foram calibradas em função de 4 modelos matemáticos de regressão: exponencial, logarítmico, quadrático e cúbico.

O modelo sugerido para a regionalização das curvas de permanência foi selecionado levando-se em consideração o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e o erro quadrático relativo médio percentual ( $\epsilon\%$ ). O modelo cúbico foi o que obteve melhores resultados, pois apresentou menores erros médios percentuais e maiores  $R^2_a$ . Através da técnica de regressão múltipla foi efetuada a regionalização dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  do modelo cúbico, em função das características morfoclimáticas da sub-bacia.

Na etapa de validação do modelo, foi aplicado o procedimento de Jack-knife para as 12 estações fluviométricas, considerando-as como uma única região, e agrupando as 12 estações, o modelo obteve um bom desempenho somente para 4 bacias-alvo (Abunã, Porto Velho, Humaitá e Manicoré), sendo essas as que apresentaram maior área de drenagem e foram consideradas regiões homogêneas. Assim, propôs-se a otimização do modelo, através do método de tentativa e erro, considerando o agrupamento das bacias em função da dimensão de suas áreas de drenagem e aplicou-se novamente a metodologia somente para 8 estações, retirando as estações com maior área de drenagem e observou-se uma redução do erro quadrático médio percentual e do coeficiente de Nash, porém o modelo linear não obteve um bom desempenho sugerindo aplicar modelos não lineares. Logo, pode-se concluir que desempenho do modelo calibrado e validado demonstra o potencial deste na estimativa das curvas de permanência para os rios com grande área de drenagem que compõem a bacia do Rio Madeira.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: Novembro/2015.

ANDRADE, C. D. **Análise pluviométrica da bacia transfronteiriça do rio Madeira**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

COSTA, A.S.; CARIELLO, B.L.; BLANCO, C.J.C.; PESSOA, F.C.L. **Regionalização de Curvas de Permanência de Vazão de Regiões Hidrográficas do Estado do Pará**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.4, 413-422, 2012.

RIBEIRO NETO, A. **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira** [Rio de Janeiro] 2006. XVII 178 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2006). Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

GONTIJO JR. W.C.; KOIDE, S. **Avaliação de Redes de Monitoramento Fluviométrico Utilizando o**

**Conceito de Entropia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos V. 17, n.1, 97-109, 2012.

MIMIKOU, M.; KAEMAKI, S. **Regionalization of flow duration characteristics.** Journal of Hydrology, 82, 77-91, 1985.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles.** Journal of Hydrology., Vol. 10, Issue 3, p. 282-290, 1970.

PESSOA, F.C.L; BLANCO, C.J.C; MARTINS, J.R. 2011. **Regionalização de curvas de permanência de vazão da região da Calha Norte no Estado do Pará.** Revista Brasileira de recursos Hídricos, 16 (2): 65-74.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões.** Editora da Universidade. UFRGS. 1ª edição. Porto Alegre, 2002.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Alan Mario Zuffo** - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan\_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-252-4

